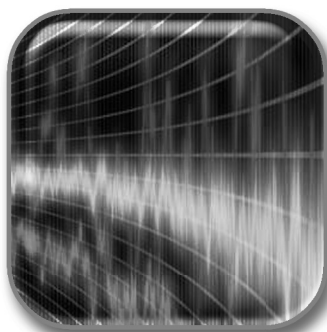
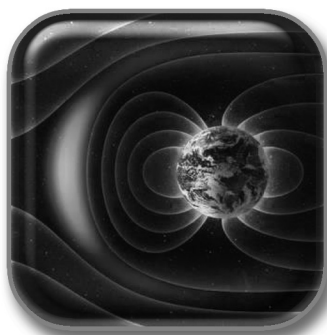


М.В. Головка, Л.В. Непорожня,
В.С. Коваль, Ю.С. Мельник, В.В. Сіпій

ФІЗИКА

*Підручник для 9 класу
загальноосвітніх навчальних закладів*



Київ
Видавничий дім «Сам»
2017

УДК 375,5+53(075.3)
Ф50

Рекомендовано Міністерством освіти і науки Україна
(наказ МОН України від 20.03.2017 р. №417)

Фізика: підр. для 9 кл. загальноосвіт. навч.
Ф50 закл. / М.В.Головко, Л.В.Непорожня, В.С.Коваль,
Ю.С.Мельник, В.В.Сіпій. — Київ: Видавничий дім
«Сам», 2017. — 322.

ISBN 966-8714-39-3

Головною метою підручника є сприяння розвитку учнів засобами фізики, формуванню в них предметної компетентності на основі фізичних знань, наукового світогляду й відповідного стилю мислення, розвитку експериментальних умінь, дослідницьких навичок, творчих здібностей і схильності до креативного мислення, усвідомлення необхідності вивчати фізику для розуміння навколишнього світу.

УДК 375,5+53(075.3)

© М. В. Головко, Л. В. Непорожня,
В. С. Коваль, Ю. С. Мельник,
В. В. Сіпій, 2017

© Видавничий дім «Сам», 2017

ISBN 966-8714-39-3

ЗМІСТ

Вступ	6
Розділ 1. МАГНІТНІ ЯВИЩА	8
§ 1. Магнітні явища. Магніти	8
§ 2. Взаємодія магнітів. Магнітне поле постійного магніту ..	15
§ 3. Магнітне поле Землі	19
<i>Виконуємо навчальний проект разом.....</i>	<i>24</i>
§ 4. Магнітне поле прямого провідника зі струмом	27
§ 5. Магнітне поле колового струму. Електромагніти	33
§ 6. Гіпотеза Ампера. Магнітні властивості речовин	38
<i>Це цікаво.....</i>	<i>41</i>
§ 7. Дія магнітного поля на провідник зі струмом. Сила Ампера.....	42
Вчимося розв'язувати фізичні задачі на силову дію магнітного поля	47
<i>Це цікаво.....</i>	<i>48</i>
§ 8. Застосування сили Ампера. Електродвигун постійного струму	49
§ 9. Досліди Фарадея. Явище електромагнітної індукції.....	54
§ 10. Генератори індукційного струму. Промислові джерела електричної енергії	60
Головне в розділі 1.	64
<i>Виявляємо предметну компетентність із розділу «Магнітні явища».....</i>	<i>66</i>
Розділ 2. СВІТЛОВІ ЯВИЩА	70
§ 11. Джерела й приймачі світла	70
§ 12. Світловий промінь і світловий пучок. Закон прямолінійного поширення світла. Сонячне та місячне затемнення	76
§ 13. Відбивання світла. Закон відбивання світла	80
Вчимося розв'язувати задачі на закони відбивання світла.....	84
§ 14. Плоске дзеркало.....	85
§ 15. Заломлення світла на межі поділу двох середовищ. Закон заломлення світла.....	90
§ 16. Дисперсія світла. Спектральний склад природного світла. Кольори	96
<i>Виконуємо навчальний проект разом.....</i>	<i>100</i>

§ 17.Лінзи. Отримання зображень за допомогою лінзи	100
§ 18.Оптична сила й фокусна відстань лінзи. Формула тонкої лінзи	108
§ 19.Око як оптична система	112
§ 20.Найпростіші оптичні прилади	116
Головне в розділі 2.	120
Вчимося розв'язувати фізичні задачі на світлові явища.	121
<i>Виявляємо предметну компетентність із розділу «Світлові явища».</i>	123
Розділ 3. МЕХАНІЧНІ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ	126
§ 21.Хвильові явища в природі та техніці	126
§ 22.Звукові хвилі та їх властивості	132
§ 23.Гучність звуку та висота тону	137
§ 24.Інфра- й ультразвуки та їх використання	141
§ 25.Електромагнітні хвилі та їх властивості	148
§ 26.Фізичні основи радіозв'язку.	155
§ 27.Сучасні засоби зв'язку та комунікацій. Радіолокація . .	158
<i>Виконуємо навчальний проект разом.</i>	164
Вчимося розв'язувати фізичні задачі на хвильові явища.	165
<i>Виявляємо предметну компетентність із розділу «Механічні та електромагнітні хвилі»</i>	168
Головне в розділі 3.	171
Розділ 4. ФІЗИКА АТОМА ТА АТОМНОГО ЯДРА. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	172
§ 28.Сучасна модель атома	172
§ 29.Будова атомного ядра	177
§ 30.Радіоактивність	183
§ 31.Йонізаційна дія радіоактивного випромінювання. Природний радіоактивний фон	189
§ 32.Біологічна дія радіоактивного випромінювання. Захист від випромінювань	193
<i>Виконуємо навчальний проект разом.</i>	197
§ 33.Ядерна реакція. Ядерний реактор.	197
§ 34.Термоядерні реакції.	204
§ 35.Атомна енергетика України. Екологічні проблеми атомної енергетики	207
Це цікаво.	212
Головне в розділі 4.	213
<i>Виявляємо предметну компетентність із розділу «Фізика атома та атомного ядра. Фізичні основи ядерної енергетики»</i>	216

Розділ 5. РУХ І ВЗАЄМОДІЯ. ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ 218

§ 36. Механічний рух та його характеристики. Прискорення	218
§ 37. Вільне падіння тіл	228
§ 38. Інерціальні системи відліку. Перший закон Ньютона ..	233
§ 39. Другий закон Ньютона	242
§ 40. Третій закон Ньютона. Межі застосування законів Ньютона	246
§ 41. Закон всесвітнього тяжіння	250
§ 42. Сила тяжіння. Вага тіла. Рух тіла під дією сили тяжіння	255
§ 43. Рух тіла під дією кількох сил	262
§ 44. Імпульс. Закон збереження імпульсу	266
§ 45. Реактивний рух. Досягнення космонавтики	271
§ 46. Застосування законів збереження енергії і імпульсу в механічних явищах	277
§ 47. Фундаментальний характер законів збереження в природі	283
Вчимося розв'язувати фізичні задачі з механіки	289
§ 48. Фундаментальні взаємодії у природі	295
§ 59. Еволюція фізичної картини світу	299
§ 50. Вплив фізики на суспільний розвиток, науково-технічний прогрес та екологію	303

Лабораторні роботи 307

Відповіді до вправ. 315

ВСТУП

Слово до учнів

Шановні друзі! У сьомому та восьмому класах ви ознайомили-ся з основами фізичної науки: особливостями будови речовини, механічними, тепловими, електричними явищами та їх використанням у побуті, науці й техніці. У дев'ятому класі ви продовжите вивчення таких важливих розділів фізики, як магнітні та світлові явища, механічні й електромагнітні хвилі, фізика атома та атомного ядра.

Курс фізики дев'ятого класу має особливе значення. Адже він завершує вивчення фізики в основній школі, узагальнює знання з основ фізичної науки та систематизує їх у цілісну систему. Успішне вивчення цієї частини курсу надзвичайно важливе для подальшого опанування природничими науками в старшій школі, а також вашого усвідомленого вибору спрямування майбутньої професійної діяльності. Тому навчальна діяльність із фізики передбачає не тільки роботу з теоретичним матеріалом, а й виконання дослідів, лабораторних робіт, експериментальних і творчих дослідницьких завдань.

Створюючи підручник, автори намагалися зробити його не просто енциклопедією готових знань, а вашим провідником в опануванні шкільного курсу фізики. Саме тому цей підручник насамперед орієнтований на вашу активну пізнавальну діяльність, самостійність та відповідальність у виконанні завдань як на уроці фізики, так і під час самостійної роботи. Він містить завдання, які потребуватимуть не тільки ґрунтовних знань із фізики, а й умінь їх застосовувати для розв'язання конкретних проблем, міркувати, робити узагальнення та висловлювати власні оцінні судження. Пропонуємо особливу увагу звернути на навчальні проекти, що дадуть вам можливість якнайповніше розкрити творчі здібності. Починайте працювати над ними завчасно, ретельно добирайте цікавий та змістовний матеріал — і тоді ви отримаєте справжнє задоволення від власних міні-відкриттів.

Сподіваємося, що робота з цим підручником буде для вас цікавою та допоможе в успішному опануванні основ фізики як провідної наукової галузі сучасного природознавства.

Автори

Слово до вчителя

Шановні колеги! Пропонований підручник реалізує зміст курсу фізики 9-го класу загальноосвітніх навчальних закладів згідно навчальної програми для основної школи (7—9 кл.), затвердженої Міністерством освіти, науки молоді та спорту України у 2012 р., зі змінами, затвердженими Міністерством освіти і науки України у 2015 р. (<http://mon.gov.ua/activity/education/zagalna-serednya/navchalni-programy.html>).

Створюючи підручник, автори виходили з того, що в 9-му класі вивчаються заключні розділи логічно завершеного базового курсу фізики, який закладає основи фізичного знання на явищному (феноменологічному) рівні. Відповідно, завершується формування в учнів узагальнених знань та умінь щодо суті основних фізичних явищ, понять і законів, оволодіння науковою термінологією, основними методами наукового пізнання та алгоритмами розв'язування фізичних задач, експериментальних умінь та дослідницьких навичок, цілісних уявлень про фізичну й науково-природничу картину світу.

Розв'язанню цих важливих завдань курсу фізики основної школи сприяє вивчення магнітних та світлових явищ, механічних та електромагнітних хвиль, фізики атома та атомного ядра. У розділі «Взаємодія та рух» поглиблюються знання, яких учні набули в сьомому класі. На прикладі класичної механіки Ньютона формуються вміння оцінювати межі застосування фізичних законів і теорій. Завершується базовий курс фізики вивченням законів збереження, в якому акцентується увага на універсальному характері та фундаментальності законів збереження в природі та цілісності фізичної картини світу. Знання, набуті учнями під час вивчення цього розділу, разом зі знаннями з біології, хімії та географії становлять основу формування науково-природничої компетентності, яка реалізує особистісний розвиток учня, становлення його наукового світогляду, відповідного стилю мислення, готовності до гармонійної взаємодії з природою та соціумом. Відповідно, структура, зміст і методичний апарат підручника побудовані таким чином, щоб не просто ретранслювати програмовий матеріал, а передусім залучити учнів до активної навчально-пізнавальної, дослідницької та творчої діяльності, забезпечити формування предметної компетентності з фізики та ключової для освітньої галузі «Природознавство» науково-природничої компетентності. З цією метою твірним елементом системи вправ та завдань обрано їхню діяльнису й практичну спрямованість, орієнтованість на актуалізацію тих знань та умінь учнів із фізики, які необхідні їм для розв'язання практичних задач. З метою реалізації особистісно орієнтованого підходу в підручнику використано диференціацію навчального матеріалу та навчальних завдань за рівнями, що відповідають рівням навчальних досягнень учнів із фізики, визначених для основної школи.

Оскільки в дев'ятому класі важливе значення відводиться допрофільній підготовці учнів, метою якої є підготовка до усвідомленого вибору напрямів подальшої навчальної діяльності в старшій школі (профільного навчання) та майбутньої професії, значну увагу в підручнику приділено питанням практичного використання досягнень фізичної науки в техніці та технологіях, органічного взаємозв'язку з іншими природничими науками, значенню фізики в розвитку сучасного природознавства і цивілізації.

У підручнику запропоновано методичні рекомендації щодо розвитку умінь розв'язувати фізичні задачі, проведення класних та домашніх дослідів і спостережень, виконання навчальних проєктів та презентації їхніх результатів, що будуть корисними як для учнів, так і для вчителів фізики.

Сподіваємося, що цей підручник стане вашим помічником у реалізації основних цілей навчання фізики в основній школі.

Автори

Розділ 1.

МАГНІТНІ ЯВИЩА

Вивчаючи фізику в сьомому та восьмому класах, ви переконалися, що всі важливі досягнення людства, сучасної техніки та технологій стали можливими завдяки відкриттям цієї фундаментальної науки про природу. Звичні для нас побутові пристрої, які забезпечують зручні та комфортні умови життя людині, сконструйовані завдяки знанням фізичних основ механічних, теплових, електричних явищ. Досить поширеними на сьогодні є прилади, які функціонують завдяки використанню електричної енергії. Проте мобільні гаджети, персональні комп'ютери, телевізори, електромобілі, верстати на виробництві не могли би функціонувати без досліджень магнітних явищ. Та й, власне, виробництво електричної енергії, яка є найбільш споживаною сьогодні, неможливе без пристроїв, в основі принципу дії яких перебувають магнітні явища.

Вивчаючи цей розділ, ви ознайомитися з магнітними явищами, їх фізичною природою, використанням у побуті та техніці, усвідомите зв'язок магнетизму з іншими важливими розділами сучасної фізики, що підтверджує цілісність науково-природничої картини світу.

§ 1. Магнітні явища. Магніти

- ▶ *Магнітні явища*
- ▶ *Магніти та їх використання*

МАГНІТНІ ЯВИЩА. Ви, напевне, прикріплювали до зовнішньої поверхні холодильника за допомогою маленького магніту повідомлення або сувеніри з намагніченою основою? (рис. 1.1, а). А чи спостерігали ви за тим, як декоративне деревце «зависає» в повітрі? (рис. 1.1, б). А можливо, вам доводилося подорожувати потягом на магнітній подушці? (рис. 1.1, в).

Всі ці винаходи пов'язані з магнітними явищами та використанням різноманітних магнітів і матеріалів із магнітними властивостями.

Чи можна спостерігати прояв магнітних явищ у природі? У розділі «Електричні явища» 8-го класу ви ознайомилися з таким фізичним явищем, як полярне сяйво (рис. 1.2).

Виявляється, це явище має електромагнітну природу. Світіння верхніх розріджених шарів атмосфери відбувається внаслідок взаємодії частинок космічного випромінювання великих енергій з атомами та молекулами атмосфери в магнітному полі Землі.



Рис. 1.1. Магнітні явища в побуті та техніці:

- а) тримачі та наліпки мають намагнічену основу, тому тримаються на металевій поверхні холодильника;
 б) завдяки взаємодії магніту в підставці та намагніченого матеріалу вазона деревце «зависає» в повітрі;
 в) потяг на магнітній подушці розвиває швидкість більше 500 км/год

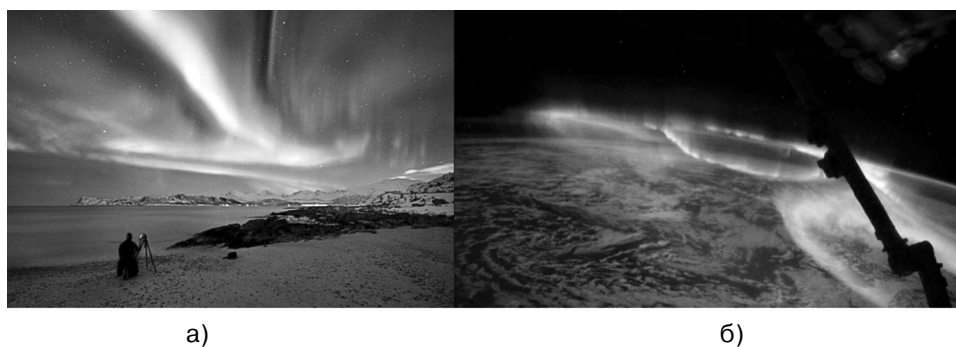


Рис. 1.2. Полярне сяйво має електромагнітну природу:

- а) спостереження полярного сяйва в Норвегії;
 б) спостереження полярного сяйва з космосу

Магнітну природу має і явище виникнення сонячних плям — темніших, порівняно із сусідніми, ділянок сонячної поверхні (рис. 1.3).

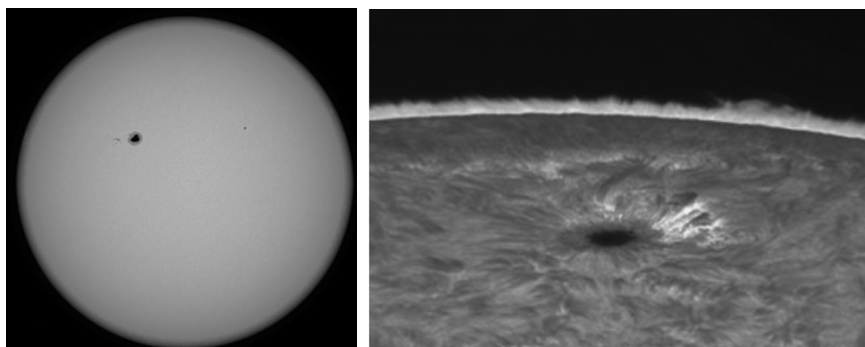


Рис. 1.3. Сонячні плями — ділянки сонячної поверхні, температура яких майже на 1500 К нижча, ніж сусідніх

Магнітні явища є невід’ємною складовою фізичної картини світу. Вони впливають на розвиток і функціонування всіх живих організмів та покладені в основу створення різноманітних сучасних приладів. За багатолітню історію їх вивчення зусиллями видатних учених А. Ампера, В. Гільберта, Г. Ерстеда, Дж. Максвелла, М. Фарадея та ін. фізична наука накопичила значні знання та відкрила важливі закони, з якими ви зможете ознайомитися далі на сторінках підручника. Більше 10 Нобелів-



Видатні
нідерландські вчені

Г. А. Лоренц
(1853–1928)

П. Зеєман
(1865–1943) —

лауреати Нобелівської премії
з фізики 1902 р.
«За видатні заслуги
в дослідженнях впливу магнетизму
на радіоактивні явища» — другої
в історії Нобелівської нагороди з фізики



В. Г. Бар'ятар
(народ. 1930 р.),
директор-засновник,
почесний директор
Інституту магнетизму
НАН України,
академік, Герой
України, видатний
учений у галузі
теоретичної фізики,
фізики твердого тіла
та магнітних явищ

ських премій у галузі фізики присуджено за теоретичні та експериментальні дослідження проблем магнетизму у XX ст.

Перспективним напрямом сучасних досліджень із магнетизму є застосування матеріалів з унікальними магнітними властивостями. В Україні такі дослідження здійснюються в Інституті магнетизму Національної академії наук України, створеному в 1995 р. зусиллями відомого вченого в галузі теоретичної фізики, фізики магнітних явищ та твердого тіла, академіка В. Г. Бар'яхтара. Учені цієї потужної науково-дослідної установи розв'язують теоретичні та практичні проблеми магнетизму, створюють нові магнітні матеріали (магнітні носії з надвисокою щільністю запису інформації, матеріали з ефектом магнітної пам'яті), будують достовірні 3D-моделі різних геохімічних і геофізичних процесів (наприклад, розподілу радіоактивного забруднення місцевості), що є важливим інструментом розроблення системи заходів із ліквідації наслідків таких екологічних катастроф світового масштабу, як аварія на Чорнобильській АЕС.

МАГНІТИ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ. Магніти або матеріали з магнітними властивостями людина використовує з давніх часів. Свою назву вони отримали від давньогрецького міста Магnezія, жителі якого ще декілька тисячоліть тому звернули увагу, що камінці окремих гірських порід притягують легенькі металеві предмети. Одна з перших письмових згадок про магнітні камені належить відомому давньоримському філософу Тітові Лукрецію Кару, який у I ст. до н. е. у відомому творі «Про природу речей» описав рух самофракійських кілець (золоті кільця із залізними вставками) та залізних опурків у мідному посуді, під яким розміщувався магнітний камінь.

Перші магніти — магнітні камені, були природного походження — шматки магнітного залізняка (магнетиту). Магнетит у природних умовах зустрічається у вигляді суцільно зернистого матеріалу, а також у вигляді магнетитового піску. Магнетит (Fe_3O_4) утворюється зі сполук заліза під дією високих тиску та температури в надрах Землі. Серед залізних руд магнетит вирізняється тим, що порівняно з іншими окислюється найменше. Його ще називають «білим залізом», або залізом, яке не ржавіє (рис. 1.4, а). Значні поклади магнетитів наявні на території нашої країни в родовищах Криворізького басейну (м. Кривий Ріг) (рис. 1.4, б). Характерною ознакою цього мінералу є залізно-чорний колір із металічним блиском та добре виражені магнітні властивості — він притягує невеликі залізні предмети (рис. 1.4, в).

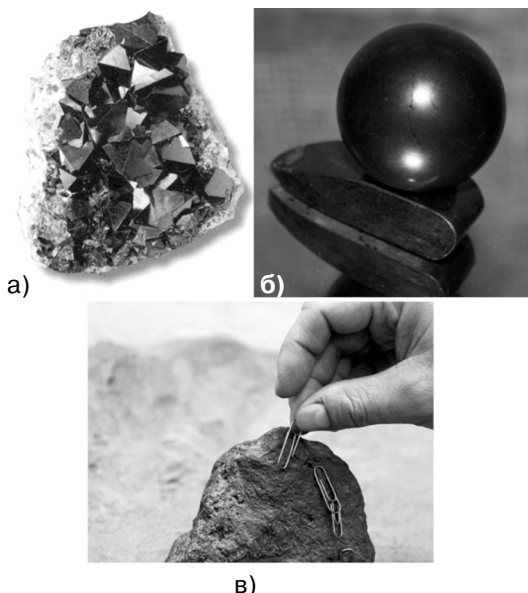


Рис. 1.4. Магнітний залізняк (магнетит):
а) магнетит — «біле залізо»;
б) сувенір, виготовлений із криворізького магнетиту;
в) магнетит має добре виражені магнітні властивості

Із часом було встановлено, що магнетит може намагнічувати залізні предмети, які самі стають магнітами.

Тіла, які тривалий час зберігають стан намагніченості, називають постійними магнітами або просто магнітами.

Чи змогли б ви самостійно отримати матеріал з магнітними властивостями? Це можливо, наприклад, якщо намагнітити канцелярські сталеві ножиці. Якщо на них покласти магніт і залишити на певний час, то вони намагнічуються і будуть достатньо довго притягувати дрібні залізні предмети (цвяшки, скріпки) (рис. 1.5). Сталеві ножиці стають магнітом.

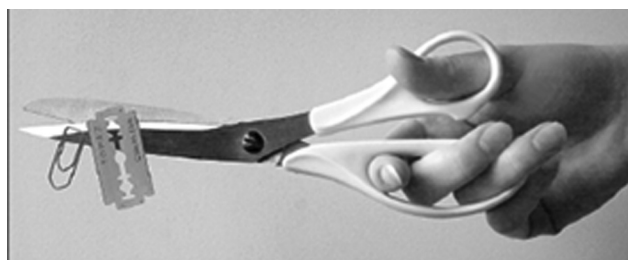


Рис. 1.5. Під час контакту сталевих ножиць із магнітом вони намагнічуються і притягують дрібні металеві предмети

Постійні магніти виготовляють зі спеціальної сталі намагнічуванням. Їхня магнітна дія з часом може послаблюватися. Особливо швидко постійні магніти «розмагнічуються» під впливом

високої температури або внаслідок механічної дії, наприклад, ударяння (чому так відбувається, ви дізнаєтеся в наступних параграфах підручника). Саме тому для більшості постійних магнітів, що використовуються, наприклад, у побуті, верхня межа діапазону температур не перевищує 80 °С.

Постійні магніти широко застосовуються в техніці та побуті. Компактні потужні магніти закріплюють на картері двигунів автомобілів для очищення мастила від металевих частинок, що значно підвищує ресурс двигунів внутрішнього згоряння. Магнітні фіксатори використовуються під час виготовлення залізобетонних конструкцій на будівництві, що дає можливість зменшити кількість зварювань та усуває необхідність виготовлення спеціальних форм. Магнітні тримачі використовують для кріплення інструментів та побутових приладів (рис. 1.6, а). Намагнічена насадка викрутки дає можливість утримувати металеві шурупи, а за допомогою телескопічних магнітів легко дістати металеві предмети з недоступних місць (рис. 1.6, б). За допомогою магнітів переміщують листове залізо, труби та інші вантажі (рис. 1.6, в). Магніти використовуються для виготовлення різноманітних головоломок та іграшок, рекламної продукції, сувенірів (рис. 1.6, г).

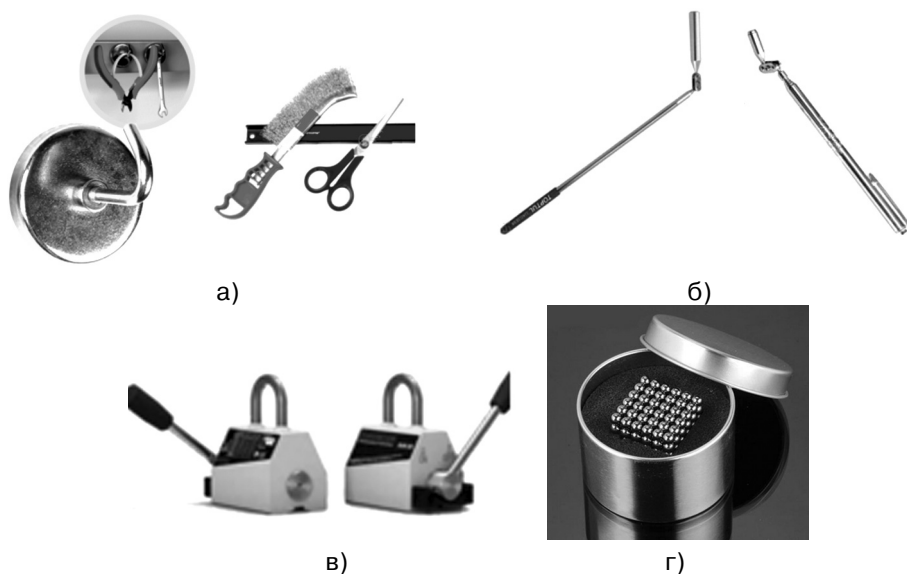


Рис. 1.6. Використання постійних магнітів: а) магнітні тримачі; б) телескопічні магніти, за допомогою яких легко знаходити металеві предмети в недоступних місцях; в) вантажний постійний магніт, який дає можливість піднімати вантажі до 2 т; г) магнітна гра-головоломка

! Головне в цьому параграфі

Магнітні явища є невід'ємною складовою фізичної картини світу. Вони впливають на розвиток та функціонування всіх живих організмів і покладені в основу створення різноманітних сучасних приладів.

Перспективним напрямом сучасних досліджень із магнетизму є застосування матеріалів з унікальними магнітними властивостями. В Україні магнітні явища досліджуються в Інституті магнетизму Національної академії наук.

Тіла, які тривалий час зберігають стан намагніченості, називають постійними магнітами або просто магнітами.

Постійні магніти широко використовують у техніці та побуті: магніти для очищення мастила двигунів, магнітні фіксатори на будівництві, мобільні крани з постійними магнітами, магнітні тримачі побутових приладів.

? Запитання для самоперевірки

1. Наведіть приклади магнітних явищ у природі.
2. Поясніть, чому дослідження магнітних явищ має важливе значення для науки та техніки.
3. Які тіла називають постійними магнітами?
4. Запропонуйте спосіб отримання постійного магніту.
5. Наведіть приклади використання постійних магнітів у побуті та техніці.

Готуємося до виконання навчального проекту

Використовуючи науково-популярну літературу, пошуково-довідкові системи мережі Інтернет, підготуйте повідомлення про українських учених, які досліджували та досліджують магнітні явища.

Вправа до § 1

- 1 (д). Яким чином можна витягти металеву скріпку з посудини з водою, не опускаючи в неї жодних предметів?
- 2 (д). Яким чином можна відокремити від металевої поверхні потужний постійний магніт? Відповідь обґрунтуйте.

§ 2. Взаємодія магнітів.

Магнітне поле постійного магніту

- *Взаємодія постійних магнітів*
- *Магнітне поле постійного магніту*

ВЗАЄМОДІЯ МАГНІТІВ. Для дослідів на уроках фізики ви будете використовувати лабораторні постійні магніти — підковоподібний та штабовий (рис. 2.1. а). Підносячи магніт до різних тіл, можна побачити, що він добре притягує предмети із заліза, чавуну, сталі та деякі сплави. Водночас ці предмети намагнічуються.

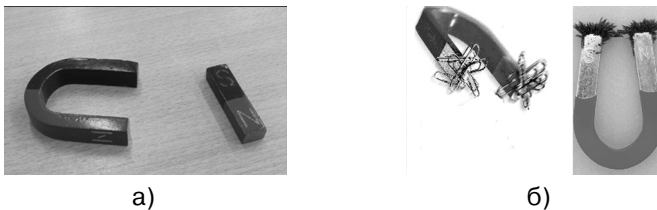


Рис. 2.1. Постійні магніти:

- а) підковоподібний та штабовий постійні магніти;
- б) ділянки магніту, які виявляють найбільшу магнітну дію, — полюси

Якщо ви експериментуватимете з постійними магнітами, то виявите, що є ділянки, біля яких магнітна дія є найсильнішою (рис. 2.1, б). Це полюси постійного магніту. Вони зображуються на малюнках і схемах літерами *N* — північний (від англійського *North*), та *S* — південний (від англійського *South*). Полюси магнітів фарбують відповідно в синій (північний) та червоний (південний) кольори.

Про наявність у магніту двох полюсів вперше зазначив у книзі «Листи про магніт», яка вийшла в 1269 р., французький дослідник П'єр де Мерікур (П'єр Перегрін). А в 1600 р. англійський учений Вільям Гільберт у книзі «Про магніт, про магнітні тіла і про великий магніт — Землю» описав понад 600 дослідів із магнітами та виокремив основні їхні властивості: різні частини магнітів по-різному притягують залізні предмети; найсильніше притягують залізні предмети полюси магніту, яких є два, — північний та південний; вони не однакові за властивостями; магніти



В. Гільберт (1544—1603), англійський фізик, один із основоположників учення про електричні та магнітні явища

виявляють свою дію через скло, шкіру і воду; Земля є велетенським магнітом.

Саме В. Гільберт звернув увагу, що неможливо одержати магніт з одним полюсом. На практиці можна перекоонатися, що під час розділення магніту навіть його найдрібніші частини матимуть два полюси.

Тобто *у будь-якого магніту обов'язково є два полюси: північний (N) та південний (S).*

Взаємодію постійних магнітів можна спостерігати за допомогою магнітних стрілок — невеликих постійних магнітів на підставці з вістрям. Якщо магнітну стрілку наблизити до іншої такої самої стрілки, то вони повернуться і встановляться одна проти одної протилежними полюсами (рис. 2.2, а). Підносячи магнітну стрілку до полюсів магніту, можна помітити, що північний полюс стрілки притягується до південного полюса магніту та відштовхується від північного. Аналогічно південний полюс стрілки притягується до північного полюса магніту та відштовхується від південного (рис. 2.2, б).

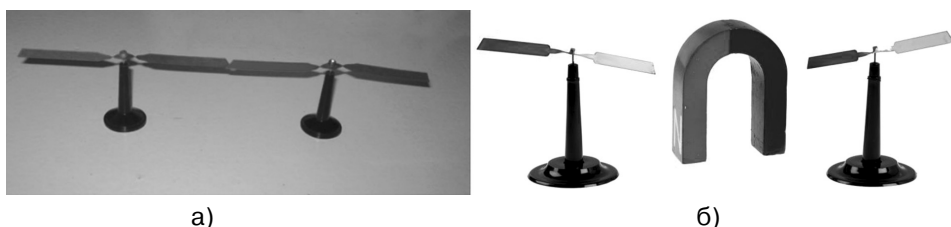


Рис. 2.2. Взаємодія постійних магнітів:
а) магнітні стрілки притягуються різнойменними полюсами;
б) взаємодія магнітних стрілок та постійного магніту

На основі цих дослідів можна зробити висновок: *постійні магніти притягуються різнойменними полюсами, а відштовхуються однойменними.*

МАГНІТНЕ ПОЛЕ ПОСТІЙНОГО МАГНІТУ. Таким чином, магніти взаємодіють між собою. Таку взаємодію називають магнітною. Розглядаючи взаємодію електричних зарядів у восьмому класі, ви дізналися, що електричні взаємодії можливі завдяки електричному полю та відбуваються за схемою: *заряд — поле — заряд*. Тобто навколо електричного заряду існує електричне поле, яке діє на інші заряди. Відповідно, магнітна взаємодія можлива завдяки магнітному полю та відбувається аналогічно: *магніт — поле — магніт*.

Отже, *навколо магніту існує магнітне поле, яке діє на інші магніти.*

Взаємодія магнітів пояснюється тим, що магнітне поле одного магніту діє на інший магніт та навпаки: магнітне поле другого магніту діє на перший магніт. Як і електричне поле, магнітне поле матеріальне. У цьому нас переконує його вплив на інші тіла.

Магнітне поле — одна з форм матерії, яка забезпечує магнітну взаємодію.

Термін «магнітне поле» увів англійський фізик Майкл Фарадей. Найпростішим індикатором магнітного поля є магнітна стрілка (це означає, що саме за допомогою магнітної стрілки можна легко виявити наявність магнітного поля).

Магнітні сили діють уздовж замкнутих ліній. Переконатися в цьому можна за допомогою залізних ошурок та постійного магніту. Залізні ошурки в його магнітному полі намагнічуються і стають подібними до маленьких магнітних стрілочок. Вони орієнтуються в магнітному полі таким чином, що їхні осі (лінії, які сполучають полюси) розташовуються вздовж напрямку дії сил магнітного поля (рис. 2.3, а).

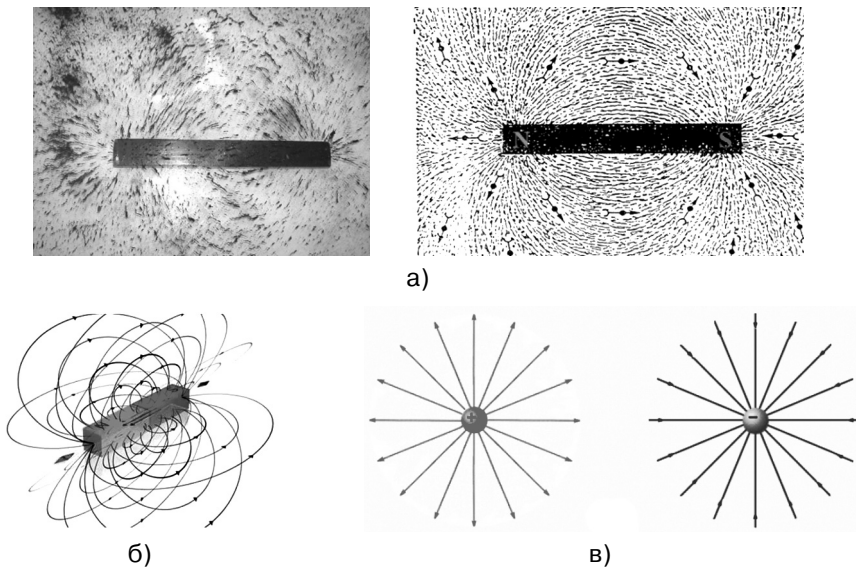


Рис. 2.3. Магнітне поле постійного магніту:

- а) залізні ошурки намагнічуються й орієнтуються вздовж ліній дії магнітних сил;
- б) лінії дії магнітних сил виходять із північного полюса і входять у південний, замикаючись усередині магніту;
- в) силові лінії електричного поля

Ці лінії називають **силовими лініями магнітного поля**. Поза магнітом лінії виходять із північного полюса і входять у південний, замикаючись усередині магніту (рис. 2.3, б). Вони не мають

ні початку, ні кінця. Цим магнітне поле принципово відрізняється від електричного, у якого силові лінії починаються на тілах із позитивним електричним зарядом і закінчуються на тілах що мають негативний заряд (рис. 2.3, в).

Далі ви ознайомитися з властивостями та характеристиками магнітного поля. Магнітні поля відіграють винятково важливу роль у природі та техніці. Вони виявляються у багатьох явищах та широко використовуються в науці та техніці.

! Головне в цьому параграфі

У будь-якого магніту обов'язково є два полюси: північний (N) та південний (S). Неможливо отримати магніт з одним полюсом.

Різнойменні магнітні полюси притягуються, а однойменні — відштовхуються.

Навколо магніту існує магнітне поле, яке діє на інші магніти.

Магнітне поле — одна з форм матерії, яка забезпечує магнітну взаємодію за схемою: магніт — поле — магніт.

Магнітні сили діють уздовж замкнутих ліній, які називають силовими лініями магнітного поля. Силові лінії магнітного поля замкнуті, вони не мають ні початку, ні кінця.

? Запитання для самоперевірки

1. Чи всі частини постійного магніту з однаковою силою притягують залізні предмети?
2. Що називають полюсами магніту?
3. Чи можна отримати магніт з одним полюсом?
4. Поясніть, як взаємодіють між собою полюси магнітів.
5. Що таке магнітне поле? Яким чином підтверджується його матеріальність?
6. Поясніть, яку роль відіграє магнітне поле у взаємодії магнітів.
7. Запропонуйте способи виявлення магнітного поля.
8. Що називають силовими лініями магнітного поля? Яку особливість вони мають?

Вправа до § 2

- 1 (п). Як підтвердити експериментально, що магніт має два полюси?
- 2 (п). Як за допомогою залізних ошурок можна визначити, де в постійного магніту розташовані полюси?
- 3 (с). Опишіть силу магнітної дії північного та південного полюсів постійного магніту на залізні ошурки.
- 4 (с). Скільки полюсів матиме постійний магніт, якщо його поділити: на 2 частини, на 4 частини, на 16 частин?
- 5 (с). Запропонуйте спосіб відокремлення чорного та кольорового металу в металобрухті.

- 6 (д). Складіть схему досліду, який би підтвердив матеріальність магнітного поля.
- 7 (д). Зобразіть у зошиті графічно лінії напруженості електричного поля нерухомих точкових зарядів та силові лінії магнітного поля постійного магніту. Знайдіть і запишіть основні відмінності силових ліній магнітного та електростатичного полів.
- 8 (в). Два постійних штабових магніти наближають один до одного, як показано на рис. 2.6. Вважаючи магніти повністю однаковими, зобразіть силові лінії магнітного поля, що створюється ними, якщо: а) магніти наблизити один до одного таким чином, щоб їхні різнойменні полюси дотикалися; б) магніти щільно з'єднати між собою, таким чином, що вони утворили єдине тіло.



Рис. 2.6. Постійні магніти, що взаємодіють різнойменними полюсами

§ 3. Магнітне поле Землі

- *Магнітне поле Землі*
- *Значення земного магнетизму для живих організмів*

МАГНІТНЕ ПОЛЕ ЗЕМЛІ. Найпростішим індикатором магнітного поля є магнітна стрілка, що вільно обертається на вертикальному виступі. Як ви переконалися на дослідах, вона взаємодіє з постійними магнітами. Проте навіть якщо поруч немає постійного магніту, стрілка завжди встановлюється в певному напрямі. Це означає те, що *Земля теж є магнітом*, у полі якого магнітна стрілка встановлюється вздовж силових ліній. Південний полюс магнітної стрілки завжди показує в напрямку Північний географічний полюс Землі, а інший — на Південний. Припущення про те, що Земля є велетенським магнітом, вперше висловив В. Гільберт.

Це явище помітили ще в давнину та стали використовувати його для орієнтації в просторі (на суходолі та на морі). Постійний магніт у вигляді маленької магнітної стрілки є основним елементом компаса — приладу, який дає можливість визначати сторони горизонту незалежно від погодних умов (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Основним робочим елементом компаса є маленький магніт — магнітна стрілка, яка взаємодіє з магнітним полем Землі

Винайдення компаса стало визначною подією в історії людства та започаткувало епоху Великих географічних відкриттів. Вважається, що один із перших компасів було сконструйовано в Китаї декілька тисячоліть тому. Сьогодні компас допомагає геологам, мандрівникам і туристам орієнтуватися в просторі.

Магнітне поле Землі складне за структурою. Проте найпотужнішою є його постійна складова. Період її зміни дуже великий і становить сотні років. Тому Землю можна вважати велетенським постійним магнітом (рис. 3.2, а). Силкові лінії магнітного поля Землі виходять приблизно з центру планети через Південну півкулю та, огинаючи її, знову спрямовуються до центру через Північну півкулю. Таким чином, поблизу Північного географічного полюса розміщується Південний магнітний полюс, до якого входять силкові магнітні лінії, а поблизу Південного географічного полюса — Північний магнітний полюс, із якого ці лінії виходять.

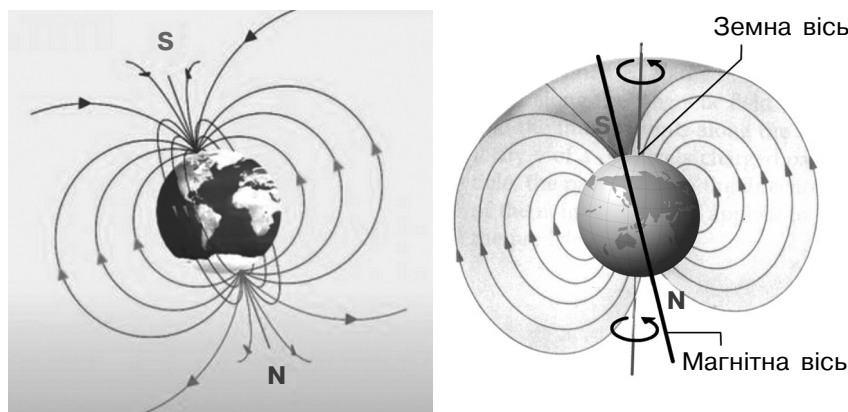


Рис. 3.2. Магнітне поле Землі:
а) силкові лінії магнітного поля Землі;
б) магнітні полюси Землі не збігаються з географічними і віддалені від них

У наш час Південний магнітний полюс віддалений від Північного географічного полюса приблизно на 2100 км. Магнітна вісь становить кут у $11^{\circ} 53'$ з віссю обертання Землі (земною віссю) (рис. 3.2, б).

Дослідження гірських порід показали, що магнітні полюси, а разом із ними і все магнітне поле Землі з часом переміщуються, причому це переміщення досить складне. За останні 100 років магнітні полюси змістилися майже на 900 км. Швидкість дрейфу магнітних полюсів Землі постійно збільшується.

Магнітне поле Землі називають також геомагнітним. Його першу карту опублікував у 1701 р. відомий астроном Е. Галлей. Вивчен-

ня геомагнітного поля є важливим напрямом сучасних фізичних досліджень, які виконуються спеціалізованими науковими установами. З 1926 р. в Україні працює Полтавська гравіметрична обсерваторія, де досліджуються геомагнітні явища. У 1960 р. було створено Інститут геофізики НАН України. Його співробітники створили магнітну модель земної кори для Українського щита, досліджують зв'язки намагніченості верхньої і нижньої частин земної кори, закономірності зміни магнітних та електричних параметрів мінеральних речовин, проводять магнітометричні вимірювання.

Ученими Карпатського відділення Інституту геофізики вперше в історії виконано унікальні дослідження динаміки магнітного поля Землі на антарктичній станції України «Академік Вернадський».

У 2016 р. відзначалося 20-ліття досліджень України в Арктиці.



З. М. Аксентьєва
(1900—1969),
український фізик,
член-кореспондент
НАН України,
багаторічний
директор Полтавської
гравіметричної
обсерваторії, яка
під її керівництвом
установа стала однією
з провідних у Європі

ЗНАЧЕННЯ ЗЕМНОГО МАГНЕТИЗМУ ДЛЯ ЖИВИХ ОРГАНІЗМІВ. Магнітне поле Землі відіграє надзвичайно важливу роль у функціонуванні біосфери та підтримці її розвитку. Ще в XIX ст. учені зробили припущення, що тварини використовують його для навігації. Із часом експериментально встановлено, що птахи орієнтуються в просторі за магнітними полюсами. Частинки магнетиту — природного магніту — були виявлені в лапках голубів, у носовій частині дельфінів, у черевцях бджіл. За допомогою мініатюрних магнітних стрілок тварини та комахи безпомилково орієнтуються в магнітному полі Землі. Виявлено бактерії, які орієнтуються за геомагнітним полем.

Магнітне поле Землі на відстані до 60 тисяч кілометрів від центру планети є майже сферично симетричним і утворює магнітосферу (область замкнених силових ліній магнітного поля Землі). На більших відстанях воно викривляється сонячним вітром — потоком заряджених частинок, що викидаються з поверхні Сонця. Ці частинки рухаються з величезною швидкістю і є джерелом магнітного поля, яке взаємодіє з магнітним полем Землі. Сонячний вітер «притискає» магніто-сферу Землі із сонячного боку. З іншого боку утворюється довгий шлейф, який простягається за Землею в напрямку сонячного вітру на більш ніж 5,5 млн км (рис. 3.3).

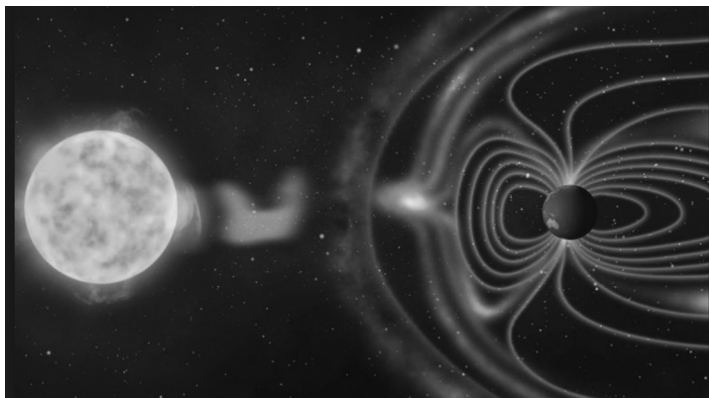


Рис. 3.3. Магнітне поле захищає Землю від сонячної радіації

Магнітосфера Землі утримує значну кількість мікрочастинок сонячного вітру та захищає все живе на нашій планеті від космічної радіації, утворюючи так звані радіаційні пояси Землі. Серед планет земної групи, до якої також входять Меркурій, Венера, Марс, тільки у Землі є потужне магнітне поле — своєрідний захисний екран для всього живого. Відсутність магнітосфери, наприклад, у Марсу вважають однією з важливих перешкод на шляху його освоєння людством.

Проте в періоди підвищеної сонячної активності з поверхні Сонця викидаються особливо потужні потоки заряджених мікрочастинок, зокрема електронів і протонів, які впливають на магнітне поле Землі — виникає магнітне збурення, або так звана магнітна буря. Магнітні бурі тривають короткий час. У цей час геомагнітне поле змінюється, на що вказують стрілка компаса, збої в роботі радіоелектронних пристроїв, систем зв'язку, виникнення полярних сяйв.

Магнітні бурі спостерігаються через один — два дні після сонячного спалаху, коли заряджені мікрочастинки сонячної речовини досягають Землі. Встановлено вплив магнітних бур на самопочуття та здоров'я людини. Можливе загострення хронічних захворювань серцево-судинної та нервової систем. Підвищуються втомлюваність організму, напруженість регуляторних механізмів серцебиття та дихання.

Вплив магнітних бур на організм пояснюється, зокрема, тим, що власні фізичні поля біологічних об'єктів, які взаємодіють із магнітним полем Землі, реагують на його збурення. Кров, що завдяки вмісту заліза має магнітні властивості, змінює свої характеристики — стає гущішою, що призводить до гіршого постачання клітин киснем. Це, у свою чергу, може спричиняти головні болі, втомлюваність, сонливість. Геомагнітне поле впливає на проникність біологічних мембран клітин, що призводить до змін у живих організмах.

! Головне в цьому параграфі

Навколо Землі існує магнітне поле, яке має досить складну структуру. Період зміни його постійної складової становить сотні років, тому Землю можна вважати велетенським постійним магнітом.

Основним елементом компаса, за допомогою якого визначають сторони горизонту незалежно від погодних умов, є магнітна стрілка стрілка на вістрі — найпростіший індикатор магнітного поля.

Поблизу Північного географічного полюса розміщується південний магнітний полюс, до якого входять силові магнітні лінії, а поблизу Південного географічного полюса — північний магнітний полюс, з якого ці лінії виходять.

Магнітні полюси, а разом із ними все магнітне поле Землі з часом переміщуються.

Магнітне поле Землі відіграє надзвичайно важливу роль для біосфери, життєдіяльності та розвитку живих організмів.

Магнітосфера утримує значну кількість заряджених мікрочастинок сонячного вітру та захищає все живе на нашій планеті від космічної радіації, утворюючи так звані радіаційні пояси Землі.

У період підвищеної активності Сонця в атмосферу Землі потрапляє значна кількість заряджених частинок (електронів, протонів), які зумовлюють магнітного поля Землі — магнітні бурі. Магнітні бурі впливають на самопочуття та здоров'я людини, роботу радіоелектронних пристроїв та систем зв'язку.

? Запитання для самоперевірки

1. За допомогою якого приладу виявляють магнітне поле Землі? Чому магнітна стрілка на Землі встановлюється у певному напрямі?
2. Чому Землю можна вважати постійним магнітом?
3. Яку особливість мають магнітні полюси Землі? Яким чином вони розміщені відносно географічних полюсів?
4. З якою метою вивчають магнітне поле Землі? Де в Україні проводять такі дослідження?
5. Що називають магнітосферою Землі?
6. Яка роль магнітосфери у забезпеченні життя на Землі?
7. Що таке магнітні бурі та як вони впливають на людину?

Вправа до § 3

- 1 (п). Що є основним елементом компаса?
- 2 (п). Чому стрілку компаса закріплюють на вістрі тонкої голки, а не жорстко?
- 3 (с). Чому корпус компаса не виготовляють зі сталі?
- 4 (с). Чому компас не можна зберігати разом із магнітами?
- 5 (д). Чому стрілка компаса вказує на північ північним полюсом? Відповідь поясніть.

- 6 (д).** Як розташується стрілка компаса: а) на Південному географічному полюсі; б) на Північному географічному полюсі? Відповідь обґрунтуйте.
- 7 (в).** На рис. 3.3 схематично зображено магнітне поле Землі та його взаємодію із сонячним вітром. Зобразіть взаємодію сонячного вітру з Марсом, у якого магнітосфера практично відсутня.
- 8 (в).** Запропонуйте та опишіть технологію виготовлення моделі компаса в домашніх умовах. За допомогою саморобного компаса визначте лінії горизонту відносно вашого робочого місця в кімнаті та зобразіть їх у зошиті.

ВИКОНУЄМО НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЕКТ РАЗОМ

Шановні друзі! Ви розпочали вивчати розділ «Магнітні явища» та ознайомилися з проявами магнітної взаємодії, магнітним полем та його властивостями. Далі ви будете поглиблювати знання про природу магнетизму, використання магнітних явищ у побуті та техніці. Ви переконаєтеся, що сучасні технології наукових досліджень мікросвіту, виробництва екологічно чистих видів енергії, створення новітніх транспортних засобів та побутових приладів базуються на використанні фізичних основ магнетизму, матеріалів із магнітними властивостями.

Пропонуємо вам долучитися до найактуальніших напрямів дослідження магнітних явищ і розпочати роботу над навчальним проектом. Цей важливий вид навчальної діяльності не є новим для вас — над проектами ви вже працювали, вивчаючи фізику в 7-му та 8-му класах. Проте 9-й клас основної школи особливий тим, що ви вже маєте досить ґрунтовні знання з основ природничих наук (фізики, біології, хімії, географії), достатні для того, щоб робота над навчальним проектом була справжнім творчим процесом, сповненим ваших особистих відкриттів у галузі пізнання природи. Працюючи над проектом, зверніть увагу на те, що всі природничі науки досліджують фундаментальні закони природи — закони збереження та розв’язують найактуальніші для людства проблеми — пошук екологічно чистих джерел енергії, створення здоров’язбережувальних технологій, відновлення природи. Тому найбільш результативними будуть проекти, в яких вам вдасться комплексно використати знання та вміння, набуті під час вивчення цих природничих предметів.

Хоча ви тільки розпочали вивчення магнітних явищ і попереду ще багато нового та цікавого, пропонуємо вже зараз спільно з учителем поміркувати над вибором теми проекту, щоб до закінчення вивчення розділу опрацювати його. А можливо, цю роботу ви продовжите й під час вивчення наступних розділів і виконаєте комплексний проект.

Коротко охарактеризуємо основні види та етапи навчальних проектів, над якими ви вже можете розпочати роботу.

Інформаційні проекти спрямовані на пошук інформації про певний об'єкт або явище, її аналіз і узагальнення фактів.

Практичні проекти передбачають розв'язання практичних завдань та створення різноманітних моделей, макетів, приладів, розроблення рекомендацій щодо їх використання.

Дослідницькі проекти — це міні-наукові дослідження, що мають чітку та добре обмірковану структуру. Під час роботи над ними увага приділяється аргументації актуальності теми дослідження, визначенню його методології, предмета та завдань дослідження, формулюванню гіпотез, вибору шляхів розв'язання проблем дослідження.

Кожен навчальний проект має кілька основних етапів:

- організаційно-підготовчий (мотивація, формування мікрогруп, визначення мети та завдань проекту, розроблення плану);
- пошуковий (збирання, аналіз і систематизація інформації, її обговорення в мікрогрупах, висунення й перевірка гіпотези, практична частина проекту, оформлення макета або моделі проекту, оцінка проміжних результатів);
- підсумковий (оформлення проекту, підготовка презентації, аналіз виконаної роботи, оцінювання внеску кожного з виконавців);
- презентація результатів (подання отриманих результатів та їх захист, відповіді на запитання, оцінювання результатів роботи, усвідомлення отриманих результатів і способів їх отримання).

Тему навчального проекту ви можете обрати з наведених нижче або запропонувати власну, погодивши її з учителем.

У розділі «Магнітні явища вам пропонуються такі навчальні проекти:

- **інформаційні**: видатні вітчизняні та закордонні вчені — дослідники магнітних явищ; вияви та застосування магнітних взаємодій у природі й техніці;
- **практичні**: магнітні матеріали та їх використання; магнітний запис інформації в комп'ютерній техніці;
- **дослідницькі**: геомагнітне поле та його вплив на живі організми; використання магнітного поля в медицині.

Як приклад практичного проекту пропонуємо вам поекспериментувати з магнітами та спробувати створити модель пристрою, що базується на явищі магнітної левітації. Левітація (від лат. *levitas* — легкість) — це стійка рівновага об'єкта у гравітаційному полі без безпосереднього контакту з іншими тілами. Необхідними умовами для левітації є наявність вертикальної сили, що компенсує силу тяжіння. Магнітна левітація виникає за рахунок взаємодії магнітних полів постійних магнітів або електромагнітів.



Рис. 1. Левітуюча сфера

Наприклад, «левітуюча сфера» (рис. 1) складається з підставки, в якій розміщено електромагніт, та сфери з постійним магнітом. Полюси магніту сфери та електромагніту підставки дібрані таким чином, що вони відштовхуються, — сфера «зависає» в повітрі над підставкою.

У потязі на магнітній подушці для левітації використовується електромагнітне поле, силу дію якого можна змінювати (рис. 2).



Рис. 2. Потяг на магнітній подушці

Т-подібна залізнична колія виготовляється з матеріалу, який є добрим провідником та відіграє роль статора електродвигуна. Замість колісних пар потяг обладнаний системою опорних та спрямовуючих електромагнітів, які виконують функцію ротора електродвигуна. Магнітне поле, що створюється Т-подібним полотном, взаємодіє з магнітним полем електромагнітів потяга, який рухається безконтактно на висоті близько 15 мм. Це дає можливість розвивати значні швидкості (до 500 км/год) за мінімальних витрат енергії, оскільки не відбувається механічного тертя. Швидкість потягу та напрям його руху регулюються зміною величини та напрямку струму в полотні.

На сьогодні ці конструкції достатньо громіздкі, оскільки для живлення електромагнітів потрібні високі струми. Тому в майбутньому планують для котушок електромагнітів використовувати надпровідники, опір яких за певних умов зменшується практично до нуля і під час проходження по них електричного струму створюються потужні магнітні поля.

Можливо, під час роботи над діючою моделлю пристрою для демонстрації магнітної левітації вам вдасться відшукати оригінальні рішення, що в майбутньому стануть основою нових технологій.

Успіхів!

§ 4. Магнітне поле прямого провідника зі струмом

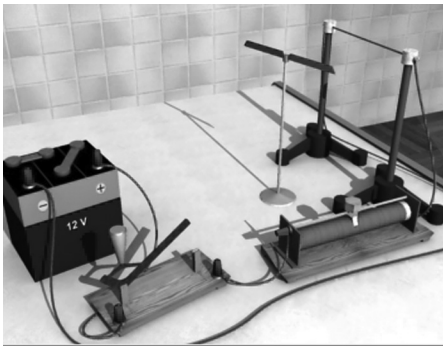
- Дослід Ерстеда
- Магнітне поле прямого струму. Індукція магнітного поля

ДОСЛІД ЕРСТЕДА. ІНДУКЦІЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ. Незважаючи на те, що до початку XIX ст. природнича наука накопичила значні знання про магніти та їх взаємодію, природа магнетизму залишалася невідомою. Тривалий час магнітні та електричні взаємодії вважали різними сутностями, не пов'язаними між собою. Вперше взаємозв'язок між електричними та магнітними явищами виявив експериментально в 1820 р. данський вчений Ганс Крістіан Ерстед.

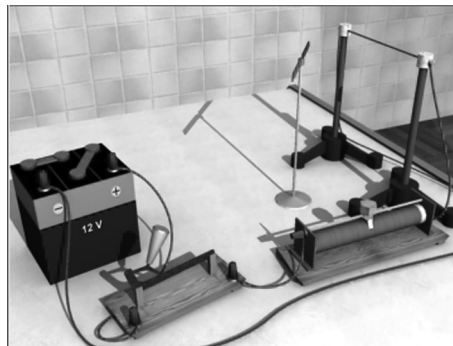
Учений за допомогою магнітної стрілки виявив магнітне поле провідника зі струмом. Розглянемо дослід Г. Ерстеда. Зберемо електричне коло, що складається з джерела струму, провідника, реостата та вимикача. Розташуємо провідник над магнітною стрілкою паралельно її осі (рис. 4.1, а).



Ганс Крістіан Ерстед
(1777—1851),
данський фізик,
дослідник електричних
та магнітних явищ



а)



б)

Рис. 4.1. Дослід Ерстеда: а) якщо електричне коло розімкнене, то магнітна стрілка розташована паралельно провіднику;
б) коли по провіднику проходить електричний струм магнітна стрілка відхиляється

Під час замикання електричного кола магнітна стрілка відхиляється від початкового положення (рис. 4.1, б). Під час розмикання кола магнітна стрілка повертається у початкове положення.

Отже, магнітна стрілка взаємодіє з провідником, по якому проходить електричний струм. Оскільки магнітна стрілка є найпростішим індикатором магнітного поля, це означає, що під час замикання електричного кола виникає магнітне поле, з яким взаємодіє магнітна стрілка (магніт). Цей дослід доводить, що *навколо провідника зі струмом існує магнітне поле*.

Магнітне поле існує навколо будь-якого провідника зі струмом, тобто навколо рухомих електричних зарядів. Електричний струм і магнітне поле невіддільні одне від одного.

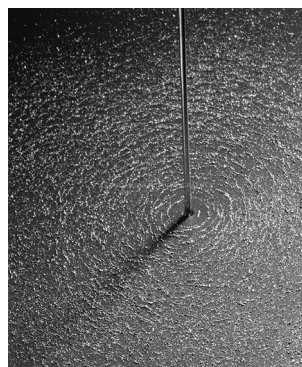
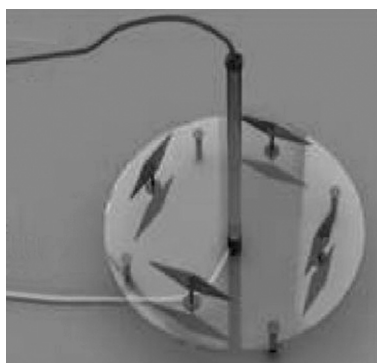
Магнітне поле виникає навколо провідника, коли в ньому проходить електричний струм. Тому струм слід розглядати як джерело магнітного поля.

Якщо навколо нерухомих електричних зарядів існує тільки електричне поле, то навколо зарядів, що рухаються (електричного струму), існує водночас і електричне, і магнітне поле.

Отже, *магнітне поле є окремим проявом електромагнітного поля*.

МАГНІТНЕ ПОЛЕ ПРЯМОГО СТРУМУ. У попередніх параграфах ви дізналися, що магнітне поле постійного магніту можна виявити як за допомогою магнітної стрілки, так і за допомогою залізних ошурок. У магнітному полі ошурки намагнічуються і поведуться як маленькі магнітні стрілочки, тобто, орієнтуються вздовж його силових ліній.

Аналогічно виявляють магнітне поле прямого провідника зі струмом. Розташуємо навколо нього маленькі магнітні стрілки, як показано на рис. 4.2, а.



4.2. Магнітне поле прямого провідника зі струмом:

- а) магнітні стрілки розташовуються таким чином, що їх осі напрямлені вздовж силових ліній магнітного поля;
- б) навколо прямого провідника зі струмом залізні ошурки орієнтуються вздовж силових ліній його магнітного поля

Пропустимо через провідник електричний струм. Магнітні стрілки встановлюються таким чином, що їх осі розміщені вздовж силових ліній магнітного поля.

Щоб спостерігати особливості розташування залізних ошурок у магнітному полі прямого провідника зі струмом, можна виконати такий дослід. Потрібно взяти прямий провідник і пропустити його через лист картону. Навколо провідника насипати тонкий шар залізних ошурок, увімкнути струм в електричному колі та легенько струсити ошурки. У магнітному полі провідника зі струмом залізні ошурки розміщуються не хаотично, а концентричними колами (рис. 4.2, б). Осі маленьких магнітів, якими стали залізні ошурки внаслідок дії магнітного поля провідника зі струмом, орієнтовані вздовж силових ліній магнітного поля. Як бачимо, силові лінії магнітного поля струму, так само, як і постійного магніту, є замкненими.

У разі зміни напрямку електричного струму в провіднику всі магнітні стрілочки повертаються на 180° . Таким чином, напрям ліній магнітного поля струму пов'язаний з напрямом струму в провіднику. Тобто, дія магнітного поля характеризується напрямом.

За напрям магнітного поля взято напрям, який показує північний полюс магнітної стрілки в кожній точці магнітного поля (рис. 4.3).

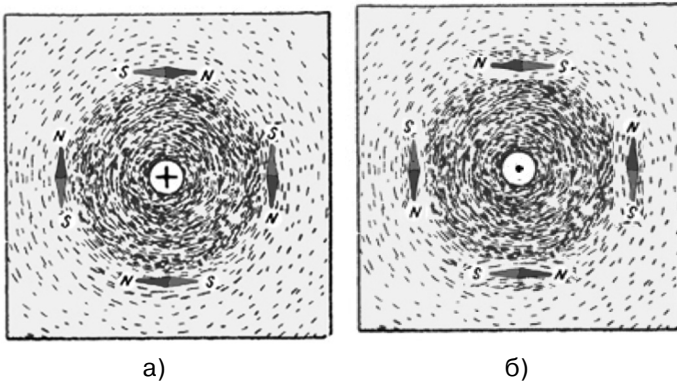


Рис. 4.3. Магнітні стрілки в магнітному полі прямого провідника зі струмом, якщо на неї дивитися згори:

- а) струм спрямований від нас, у площину малюнка, що умовно позначено знаком «плюс» у кружечку;
- б) струм у провіднику спрямований до нас, що умовно позначено кружечком із крапкою всередині

Якщо збільшити силу струму в провіднику, то можна спостерігати, що сила взаємодії магнітної стрілки і провідника зі струмом зростає. Отже, при збільшенні струму в провіднику зростає сила дії його магнітного поля. Сила дії магнітного поля струму також

залежить від відстані до нього. Відповідно, магнітні поля різних струмів будуть відрізнятися силою своєї дії, а сила дії магнітного поля одного й того самого струму залежить від відстані до нього.

Для кількісного опису електричного поля у 8-му класі була введена його силова характеристика — напруженість \vec{E} . Аналогічно для характеристики силової дії магнітного поля введено *індукцію магнітного поля*. Це векторна величина, що позначається літерою \vec{B} .

Індукція магнітного поля \vec{B} — фізична величина, яка характеризує силову дію магнітного поля.

Магнітна індукція визначає силу, з якою магнітне поле діє на рухомий заряд чи провідник зі струмом.

Напрямок магнітного поля збігається з напрямком вектора індукції \vec{B} у кожній точці цього поля (рис. 4.4). Оскільки напрям силових ліній магнітного поля залежить від напрямку струму в провіднику, то знаючи його можна визначити напрям індукції магнітного поля.

Для визначення напрямку силових ліній магнітного поля струму користуються спеціальними правилами: свердлика (правого гвинта) та правої руки:

Правило свердлика. Якщо свердлик закручувати у напрямі проходження струму, то напрямок обертання його ручки вказує напрям індукції магнітного поля (рис. 4.4, а).

Правило правої руки. Якщо прямий провідник умовно охопити чотирма пальцями правої руки так, щоб великий палець, розміщений вздовж провідника, вказував напрям струму, то напрям загину чотирьох пальців відповідатиме напрямку силових ліній магнітного поля (рис. 4.4, б).

Зверніть увагу, що вектор індукції магнітного поля \vec{B} напрямлений уздовж дотичної до магнітних ліній (рис. 4.4, а, б).

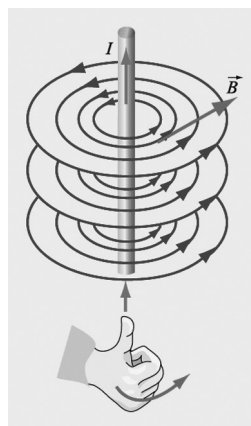
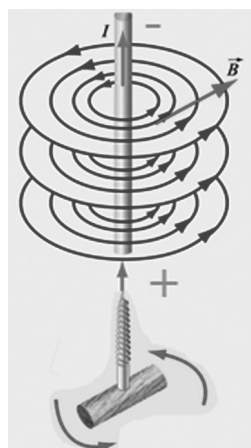


Рис. 4.4.
Визначення напрямку силових ліній магнітного поля
а) за правилом свердлика;
б) за правилом правої руки

Знаючи напрям силових ліній магнітного поля, за правилом свердлика можна визначити напрям електричного струму в провіднику та полярність джерела струму: *якщо ручку свердлика обертати в напрямку силових ліній магнітного поля (напрямку його північного полюса), то напрям поступального руху його вістря вказуватиме напрям струму в провіднику.*

Знаючи напрям струму в провіднику, легко визначити полюси джерела. Із курсу фізики 8-го класу ви знаєте, що за напрям електричного струму приймають напрям руху позитивно заряджених частинок, тобто від *позитивно зарядженого полюса джерела струму до негативно зарядженого.*

За будь-яких інших форм провідників (коло, крива лінія) силові лінії магнітного поля не будуть обов'язково коловими, але будуть обов'язково замкненими.

! Головне в цьому параграфі

Магнітне поле існує навколо будь-якого провідника зі струмом, тобто навколо рухомих електричних зарядів. Електричний струм і магнітне поле невіддільні одне від одного.

Навколо зарядів, що рухаються (електричного струму), існують водночас і електричне, і магнітне поля, тоді, як навколо нерухомих електричних зарядів існує тільки електричне поле.

Магнітне поле, так само, як і електричне, є окремим проявом електромагнітного поля.

Індукція магнітного поля \vec{B} — це фізична величина, яка характеризує силову дію магнітного поля.

Напрямок силових ліній магнітного поля визначають за правилом свердлика (правового гвинта): якщо свердлик закручувати в напрямі проходження струму, то напрям обертання його ручки вказує напрям силових ліній магнітного поля.

? Запитання для самоперевірки

1. Які дії електричного струму спостерігаються під час його протікання в провіднику?
2. У чому полягає зміст досліду Ерстеда? Чому його називають історичним дослідом?
3. Який зв'язок наявний між магнітним полем та електричним струмом?
4. Як залежить дія магнітного поля провідника зі струмом від сили струму в провіднику та відстані до нього?
5. Що прийнято за напрям магнітного поля?
6. Що називають індукцією магнітного поля?
7. За яким правилом визначають напрям силових ліній магнітного поля?

Вправа до § 4

- 1 (п). Чи буде існувати магнітне поле навколо провідника, через який не проходить електричний струм?
- 2 (п). Чи буде існувати магнітне поле навколо ізолюваного провідника зі струмом?
- 3 (с). Магнітну стрілку по черзі підносять до двох однакових провідників зі струмом. Порівняйте дію їхніх магнітних полів якщо: а) магнітну стрілку підносять на однакову відстань від кожного з провідників, а сила струму в першому провідника вдвічі більша, ніж у другому; б) сила струму в провідниках однакова, а відстань від магнітної стрілки до першого провідника вдвічі більша, ніж до другого.
- 4 (с). Порівняйте дію магнітних полів двох однакових провідників зі струмом на магнітну стрілку, якщо сила струму в першому провіднику вдвічі більша, ніж у другому, а відстань від магнітної стрілки до другого провідника була вдвічі меншою, ніж до першого.
- 5 (д). Визначте напрями ліній індукції магнітних полів, що створюються струмами (рис. 4.5).

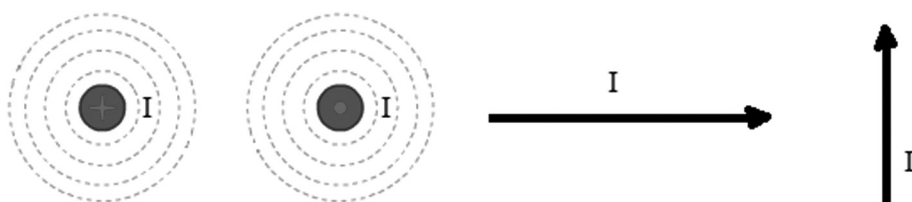


Рис. 4.5. До завдання 5 (д)

- 6 (д). Визначте напрям струму в провідниках, силові лінії магнітних полів яких зображені на рис. 4.6.
- 7(в). Визначте полярність джерела струму, до якого під'єднано прямий провідник, зображений на рис. 4.7.
- 8 (в). Визначте кут між векторами індукції магнітних полів, що створюються взаємно перпендикулярними прямими провідниками зі струмами в точці А (рис. 4.8).

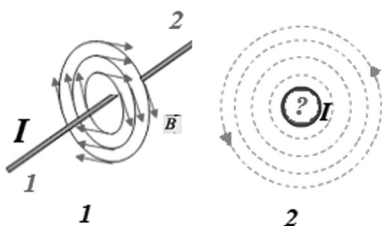


Рис. 4.6.
До завдання 6 (д)



Рис. 4.7.
До завдання 7 (в)

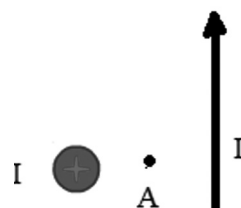


Рис. 4.8.
До завдання 8 (в)

§ 5. Магнітне поле колового струму. Електромагніти

- *Магнітне поле колового струму*
- *Магнітне поле котушки зі струмом*
- *Електромагніти та їх використання*

МАГНІТНЕ ПОЛЕ КОЛОВОГО СТРУМУ. У попередньому параграфі ви з'ясували особливості магнітного поля прямого провідника зі струмом. Як зазначалося, магнітне поле існує навколо будь-якого провідника зі струмом. З метою виявлення характеру магнітного поля колового струму, так само, як і в досліді з прямим провідником, скористаємося залізними ошурками. Для цього насиплемо їх на горизонтальну пластинку, через яку пропущено коловий провідник (рис. 5.1, а). Під час проходження електричного струму в коловому провіднику навколо нього виникає магнітне поле. Залізні ошурки намагнічуються і розташовуються вздовж силових ліній магнітного поля (рис. 5.1, б). Напрямок силових ліній магнітного поля колового провідника зі струмом можна визначити, якщо умовно розділити його на невеликі, близькі до прямолінійних, ділянки та скористатися правилом свердлика (рис. 5.1, в).

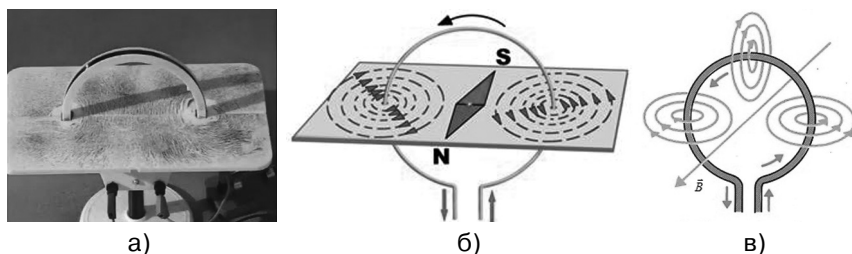


Рис. 5.1. Магнітне поле колового струму

Зверніть увагу на те, що навколо колового провідника зі струмом по один бік площини утворюється північний полюс, а по другий — південний, чого не скажеш про прямий провідник.

МАГНІТНЕ ПОЛЕ КОТУШКИ ЗІ СТРУМОМ. Як ви вже знаєте, навколо будь-якого провідника зі струмом існує магнітне поле. Проте магнітне поле, наприклад, окремого колового провідника зі струмом незначне. Якщо ж на каркас з ізоляційного матеріалу намотати велику кількість витків ізоляованого дроту, то отримаємо котушку. При проходженні електричного струму магнітне поле окремих витків взаємно підсилюється і його дія виявляється значно сильніше. Тому котушка зі струмом має значно потужніше магнітне поле. Його характер, так само, як і в досліді із прямим та коловим

провідниками, можна спостерігати за допомогою залізних ошук (рис. 5.2, а).

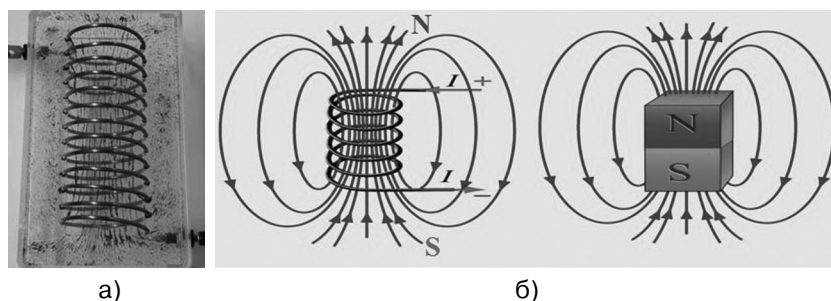


Рис. 5.2. Магнітне поле котушки зі струмом

Лінії магнітного поля котушки зі струмом є замкнутими кривими. Поза котушкою силові лінії спрямовані від її північного полюса до південного (рис. 5.2, б).

Магнітне поле, силові лінії якого максимально наближені до паралельних, отримують за допомогою **соленоїдів** (від грец. *solen* — трубка) — довгих прямих котушок зі струмом. Магнітне поле всередині соленоїда вважають однорідним.

Як і будь-який магніт, котушка зі струмом має два полюси — північний та південний. Тому в магнітному полі Землі поводить себе так само, як і магнітна стрілка. Якщо котушку зі струмом вільно розташувати на гнучких провідниках, то вона встановиться вздовж ліній магнітного поля Землі таким чином, що один кінець вказуватиме на північний магнітний полюс, а другий — на південний (рис. 5.3).

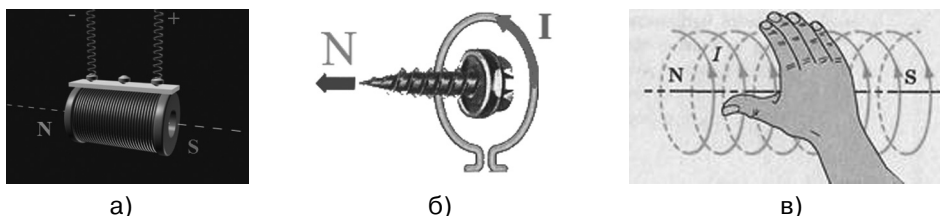


Рис. 5.3. Котушка зі струмом у магнітному полі Землі:

- а) котушка зі струмом встановлюється вздовж силових ліній магнітного поля Землі;
- б) полюси магнітного поля котушки зі струмом можна визначити за допомогою правила свердлика (правового гвинта)
- в) полюси магнітного поля котушки зі струмом визначають за правилом правої руки

Полюси магнітного поля котушки зі струмом можна визначити за допомогою магнітної стрілки, а також за правилом свердлика або правої руки (знаючи напрям струму у витках котушки):

якщо ручку свердлика обертати в напрямку струму у витках котушки, то напрям поступального руху його вістря вказуватиме на напрям магнітного поля котушки (її північний полюс) (рис. 5.3, б);

якщо праву руку покласти долонею на витки котушки таким чином, щоб чотири пальці показували струм у витках, то відігнутий великий палець покаже північний полюс котушки (рис. 5.3, в).

За правилом свердлика або правої руки можна визначити й напрям струму у витках котушки (полярність її включення), якщо відомі полюси її магнітного поля.

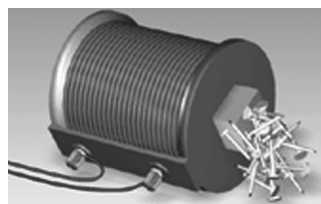
ЕЛЕКТРОМАГНІТИ. Магнітна дія котушки зі струмом залежить від кількості її витків, і тим сильніша, чим більше витків має котушка. Підсилити магнітне поле котушки також можна, збільшивши силу струму в її витках. Або увівши до неї осердя з ферромагнетику, наприклад, заліза. Така котушка легко притягує різноманітні залізні предмети (рис. 5.4, а).

Котушку із залізним осердям усередині називають електромагнітом.

Найпростіший електромагніт ви можете виготовити самостійно, намотавши кілька витків ізольованого дроту на залізний цвях. Якщо кінці провідника приєднати до джерела струму, отримаємо саморобний електромагніт (рис. 5.5, б).

Електромагніти широко використовуються в техніці та на виробництві. Осердя промислових електромагнітів виготовляють зі спеціального заліза (так званого м'якого) або сплавів із сильними магнітними властивостями. Котушки таких магнітів містять велику кількість витків, намотаних у декілька шарів. Для збільшення притягальної дії електромагнітів використовують дві котушки, які під'єднують до джерела струму послідовно і закріплюють на U-подібному осерді.

Електромагніти широко застосовуються, оскільки швидко розмагнічуються у разі вимикання струму, а їхню магнітну дію можна легко регулювати, змінюючи силу струму в котушці. Електромагніти з великою підйомною силою використовую-



а)

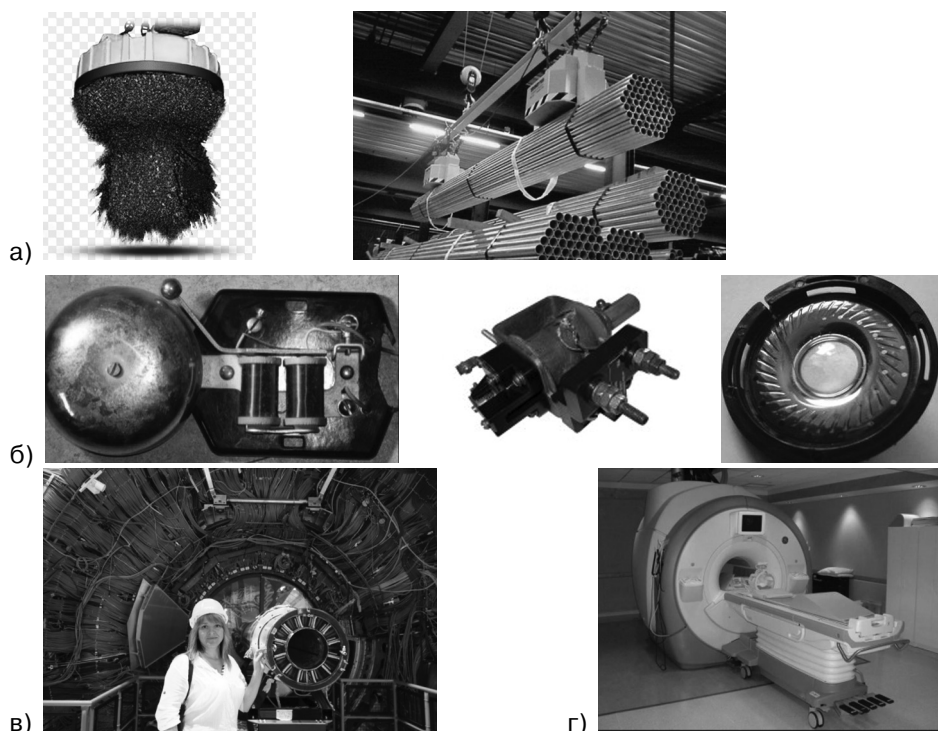


б)

Рис. 5.4. Найпростіші електромагніти:
а) котушка із залізним осердям легко притягує дрібні залізні предмети;
б) саморобний електромагніт

ють для перенесення залізних виробів та металевого брухту (рис. 5.6, а). Електромагніти є основними складниками, наприклад, електричного дзвоника та електромагнітних реле, які працюють за порівняно малих струмів, але дають змогу автоматично вмикати та розмикати електричні кола з великими робочими значеннями струмів. У мікрофоні вашого мобільного телефону та навушниках використовуються невеликі електромагніти — котушки, прикріплені до мембран та надіті на постійні магніти. Коли електричний сигнал подається на них, виникає магнітне поле, яке взаємодіє з магнітним полем постійного магніту, і котушка разом із мембраною рухається (рис. 5.5, б).

Також електромагніти використовують для наукових досліджень. Так, в адронному колайдері елементарним частинкам (наприклад, протонам) надають високих енергій, розганяючи їх у магнітному полі, що створюється потужними електромагнітами (рис. 5.5, в). Електромагніти є складниками сучасних медичних апаратів — томографів, за допомогою яких здійснюють діагностику захворювань методом магнітного резонансу (рис. 5.5, г).



5.5. Використання електромагнітів: а) промислові електромагніти; б) електромагніт є складовою електричного дзвоника, реле, навушників тощо; в) адронний колайдер для досліджень взаємодій елементарних частинок має потужні електромагніти; г) за допомогою магніто-резонансного томографа здійснюють діагностику хвороб.

! Головне в цьому параграфі

Магнітне поле окремих витків взаємно підсилюється, тому щоб отримати потужне магнітне поле, використовують котушки. Лінії магнітного поля котушки зі струмом є замкнутими кривими. Поза котушкою силові лінії спрямовані від її північного полюса до південного.

Довгу пряму котушку зі струмом, всередині якої, силові лінії магнітного поля якої майже паралельні, називають соленоїдом.

Полюси магнітного поля котушки зі струмом визначають за правилом правої руки: якщо праву руку покласти долонею на витки котушки таким чином, щоб чотири пальці показували струм у витках, то відігнутий великий палець покаже північний полюс котушки.

Котушку із залізним осердям усередині називають електромагнітом. Електромагніти широко використовуються для наукових досліджень, у техніці та побуті.

? Запитання для самоперевірки

1. З якою метою провідник намотують у котушку?
2. Що називають соленоїдом?
3. Як визначити полюси магнітного поля котушки зі струмом?
4. Яким чином можна підсилити магнітне поле котушки зі струмом?
5. Що називають електромагнітом?
6. Де застосовуються електромагніти? Наведіть приклади.

Домашній експеримент

Спробуйте виготовити найпростіший електромагніт. Для цього візьміть тонкий мідний ізольований провідник і намотайте 20—30 витків на залізний цвях або залізний стрижень. Приєднайте кінці провідника до батарейки, яка використовується в побутових приладах (пульт дистанційного керування, настінний годинник). Спробуйте підняти електромагнітом невеликий вантаж (канцелярські скріпки, дрібненькі цвяхи).

Визначте полюси вашого електромагніту, користуючись правилом правої руки. Якщо у вас є магнітна стрілка (компас), перевірте, чи правильно визначені полюси електромагніту.

Проекспериментуйте: спробуйте змінити полюси електромагніту, намотайте на цвях більшу кількість витків та спостерігайте, як зміниться магнітна дія.

Вправа до § 5

- 1 (п). Дві котушки виготовлені з однакового провідника і по них тече однаковий струм. Перша котушка має 100 витків, а друга — 150. Порівняйте магнітні поля котушок.
- 2 (п). Порівняйте магнітні поля двох однакових котушок, якщо сила струму в першій із них удвічі більша, ніж у другій.
- 3 (с). Як змінити напрям магнітного поля котушки зі струмом?

- 4 (с). Яким чином можна відокремити металевий вантаж від електромагніту?
- 5 (д). Визначте магнітні полюси котушки зі струмом, зображеної на рис. 5.7.
- 6 (д). Визначте полюси джерела струму, до якого підключена котушка, якщо вона взаємодіє з магнітною стрілкою таким чином, як показано на рис. 5.8.
- 7 (д). Дві котушки підвішені на тонких дротинах. Визначте, яким чином будуть взаємодіяти ці котушки, якщо їх підключити до джерела струму як показано на рис. 5.9.
- 8 (в). Дві котушки виготовили з одного й того ж провідника однакової довжини. При виготовленні другої котушки провідник перегнули навпіл. Порівняйте магнітні поля котушок, якщо по них пропускають електричний струм однакової величини. Відповідь обґрунтуйте.

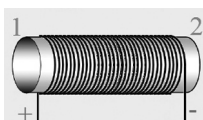


Рис. 5.7. До завдання 5 (д)

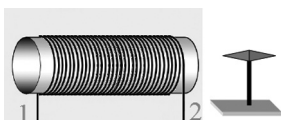


Рис. 5.8. До завдання 6 (д)

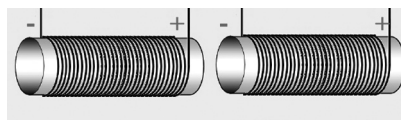


Рис. 5.9. До завдання 7 (д)

§ 6. Гіпотеза Ампера. Магнітні властивості речовин

- *Природа магнетизму. Гіпотеза Ампера*
- *Магнітні властивості речовин*

ПРИРОДА МАГНЕТИЗМУ. ГІПОТЕЗА АМПЕРА. Відкриття Г. Ерстедом явища виникнення навколо провідника зі струмом магнітного поля стало важливим кроком у розвитку уявлень про природу магнетизму. Було встановлено невідокремлюваність електричного струму (рухомих електричних зарядів) та магнітного поля. Експериментуючи із соленоїдом, французький учений А. Ампер зацікавився подібністю його магнітного поля та магнітного поля постійного магніту (рис. 6.1).

Учений висловив гіпотезу (наукове припущення) про те, що магнітне поле постійного магніту створюється мікрострумами, що існують у магніті. На думку А. Ампера, намагніченість заліза і сталі зумовлена існуванням електричних струмів, які циркулюють всередині кожної молекули цих речовин. Природу й характер молекулярних струмів було неможливо пояснити, виходячи з тогочасних уявлень про будову речовини. Лише після відкриття електрону (майже через 100 років!) та отримання ґрунтовних знань

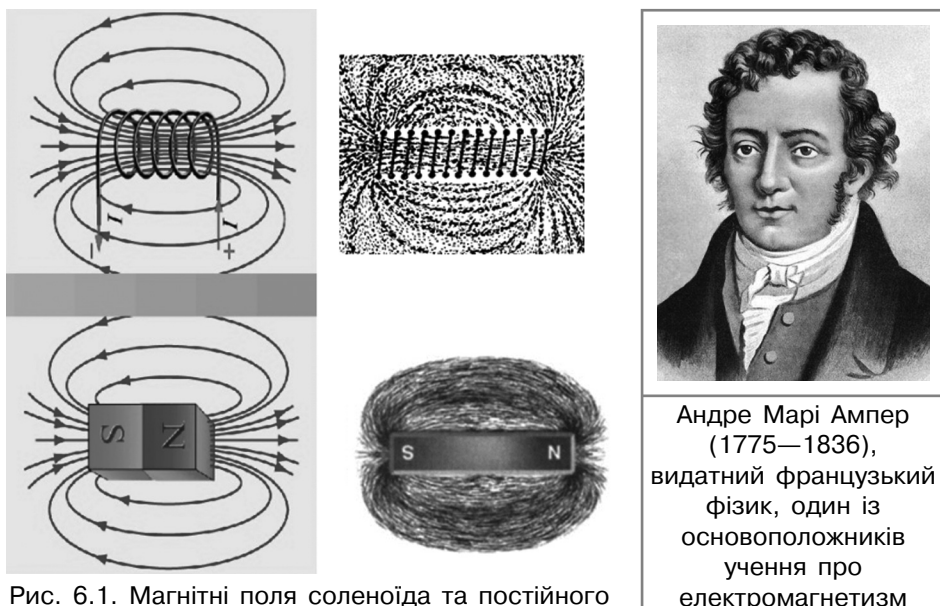


Рис. 6.1. Магнітні поля соленоїда та постійного штабового магніту

про будову атома, гіпотеза А. Ампера була підтверджена та покладена в основу сучасних уявлень про магнітні властивості речовин.

МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ РЕЧОВИН. Наявність у речовині мікро-струмів Ампера пояснюється тим, що в кожному атомі є негативно заряджені електрони. Вони рухаються навколо ядер по колових орбітах та подібно до витків зі струмом утворюють магнітні поля.

У немагніченій речовині мікроструми циркулюють хаотично, а створені ними магнітні поля ніби компенсують одне одного (рис. 6.2, а). У процесі намагнічування під дією зовнішнього магнітного поля площини мікрострумів встановлюються паралельно одна одній, а їх магнітні поля взаємно підсилюються (так само, як магнітні поля окремих витків соленоїда) та утворюють результуюче магнітне поле, напрям силових ліній якого збігається з напрямком силових ліній зовнішнього поля (рис. 6.2, б).

Таким чином, якщо речовину помістити в магнітне поле, площини руху електронів переорієнтовуються, а створювані мікрострумами (рухомими електричними зарядами) магнітні поля підсилюють одне одного — речовина намагнічується або *набуває магнітних властивостей*.

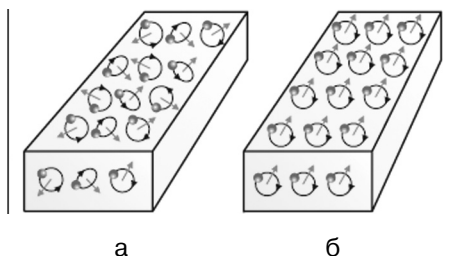


Рис. 6.2. Циркуляція мікрострумів у атомах а) до намагнічування (хаотична); б) після намагнічування (впорядкована)

Коли дія зовнішнього магнітного поля припиняється, то відновлюється хаотична орієнтація площин руху електронів (відповідно, мікрострумів та створюваних ними полів) унаслідок теплового руху молекул. Хаотична орієнтація також відновлюється під час нагрівання намагніченої речовини, впливу на неї магнітного поля протилежного напрямку, механічної дії (ударяння). При цьому відбувається розмагнічування — яскраво виражені магнітні властивості втрачаються.

Та чи всі речовини намагнічуються однаково? Експериментально встановлено, що є речовини, які намагнічуються набагато сильніше (наприклад, залізо або сталь), а інші слабше.

За магнітними властивостями речовини поділяють на **феромагнетики, парамагнетики, діамагнетики**.

Феромагнетики тривалий час зберігають стан намагніченості та створюють досить потужні власні магнітні поля. До них належать залізо, нікель, кобальт, деякі сплави. Феромагнітні властивості ці речовини виявляють у кристалічному стані. Магнітні поля всередині таких речовин у тисячі разів сильніші, ніж ззовні.

Слабше намагнічуються парамагнетики, до яких належать кисень, оксид азоту, алюміній, платина. У парамагнітній речовині виникає власне магнітне поле, яке підсилюється зовнішнім магнітним полем. Магнітне поле всередині парамагнетиків сильніше, ніж ззовні, але не настільки, як у феромагнетиків.

Майже не намагнічуються діамагнетики — речовини, які послаблюють зовнішнє магнітне поле. При внесенні діамагнітної речовини у магнітне поле її мікроструми орієнтуються так, що створювані ними власні магнітні поля послаблюють зовнішнє магнітне поле. До діамагнетиків належать інертні гази, більшість органічних сполук, такі метали, як вісмут, цинк, золото, мідь, срібло, ртуть, а також смоли, вода, скло тощо.

Важливо зауважити, що **немагнітних речовин у природі не існує**. Такий висновок випливає з гіпотези Ампера та підтверджується внутрішньою електронно-ядерною будовою атомів речовини та рухом їх складових частинок. Відповідно, всі речовини тією чи іншою мірою є **магнетиками** (умовна назва речовини, магнітні властивості якої вивчають).

! Головне в цьому параграфі

В основу гіпотези Ампера покладено невідокремлюваність електричного струму (рухомих електричних зарядів) та магнітного поля. Намагніченість заліза і сталі зумовлена існуванням електричних струмів, які циркулюють усередині кожної молекули цих речовин.

Наявність у речовині мікрострумів Ампера пояснюється тим, що в кожному атомі є негативні заряджені електрони. Вони рухаються навколо ядер по колових орбітах та подібно до витків зі струмом утворюють магнітні поля.

У процесі намагнічування під дією зовнішнього магнітного поля мікроструми встановлюються в паралельних площинах, а їх магнітні поля взаємно підсилюються.

За магнітними властивостями речовини поділяють на **феромагнетики, парамагнетики, діамагнетики**.

Феромагнетики тривалий час зберігають стан намагніченості та створюють досить потужні власні магнітні поля.

У парамагнітній речовині виникає власне магнітне поле, яке підсилюється зовнішнім магнітним полем. Магнітне поле всередині парамагнетиків сильніше, ніж ззовні, але не настільки, як у феромагнетиків.

Майже не намагнічуються діамагнетики — речовини, які послаблюють зовнішнє магнітне поле. При внесенні діамагнітної речовини у магнітне поле її мікроструми орієнтуються таким чином, що створювані ними власні магнітні поля послаблюють зовнішнє магнітне поле.

Немагнітних речовин у природі не існує. Всі речовини тією чи іншою мірою є магнетиками.

? Запитання для самоперевірки

1. У чому полягає гіпотеза А. Ампера щодо природи магнетизму?
2. Чому немагнітних речовин у природі не існує?
3. Що відбувається з атомами речовини під час намагнічування?
4. Чим відрізняються феромагнетики, парамагнетики та діамагнетики?
5. Як можна розмагнітити речовину?

Домашній експеримент

Ви вже маєте досвід виготовлення найпростішого електромагніту. Спробуйте в саморобному електромагніті замінити залізне осердя на алюмінієве або мідне. Спостерігайте, як змінилася магнітна дія вашого електромагніту на залізні предмети. Поясніть ці зміни.

Вправа до § 6

- 1 (с). Запропонуйте спосіб швидкого розділення чорного та кольорового металобрухту.
- 2 (с). Чому стрілку компаса не виготовляють з кольорових металів?
- 3 (д). Як на основі сучасних уявлень про будову атома, відомих вам із курсів фізики та хімії, можна підтвердити гіпотезу А. Ампера?
- 4 (д). Порівняйте магнітну дію котушки зі струмом, у яку по черзі вводять залізне, алюмінієве та мідне осердя. Поясніть, чим зумовлена зміна її магнітних властивостей.
- 5 (в). Поясніть, чому під час нагрівання магніт втрачає свої властивості. Чи відновлюються вони після охолодження речовини?

Це цікаво

Земля — постійний магніт чи електромагніт?

Зі сторінок підручника ви дізналися, що наша планета має магнітне поле, яке досить складне за своєю структурою, оскільки його стаціонар-

на складова (найбільш потужна, яка становить близько 99 %) не змінюється упродовж сотень років. Тому Землю у цьому сенсі можна вважати велетенським постійним магнітом.

Згідно з гіпотезою Ампера, що отримала наукове підтвердження, будь-яке магнітне поле створюється струмами. Тому за однією з теорій стаціонарне поле Землі створюється глибинними струмами всередині нашої планети. У такому розумінні Земля є велетенським електромагнітом. Учені припускають, що подібний механізм генерації магнітного поля, зумовлений протіканням струмів у рідкому металічному ядрі, має місце й на інших планетах Сонячної системи. Наприклад, саме рідке ядро з металічного водню може бути джерелом магнітного поля Сатурна та Юпітера.

§ 7. Дія магнітного поля на провідник зі струмом. Сила Ампера

- Дія магнітного поля на провідник зі струмом
- Сила Ампера
- Рамка зі струмом у магнітному полі

ДІЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ПРОВІДНИК ЗІ СТРУМОМ. У попередніх параграфах ми з'ясували, що магнітне поле, створене провідником зі струмом, діє на магнітну стрілку (магніт). Виявляється, що, у свою чергу, магнітне поле діє на провідник, по якому проходить електричний струм. Щоб переконаватися в цьому, закріпимо провідник на штативі за допомогою гнучких дротів та з'єднаємо його послідовно з реостатом, вимикачем та джерелом струму. Розташуємо провідник між полюсами постійного підковоподібного магніту та ввімкнемо електричний струм. Провідник почне рухатися (рис. 7.1, а).

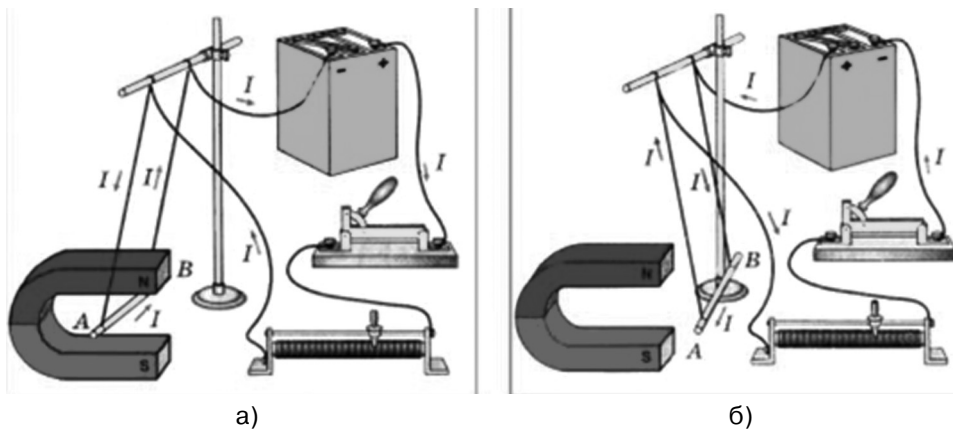


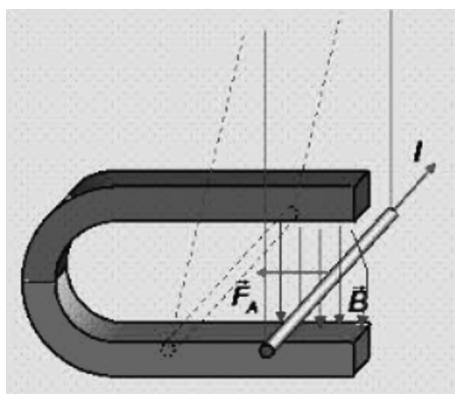
Рис. 7.1. Дія магнітного поля на провідник зі струмом

Якщо вимкнути струм, провідник повернеться в початкове положення. Якщо змінити напрямок струму в провіднику на протилежний, провідник у магнітному полі підковоподібного магніту буде рухатися у протилежний бік (рис. 7.1, б). Також напрямок руху провідника зміниться на протилежний і тоді, коли змінити напрямок магнітного поля (положення полюсів магніту).

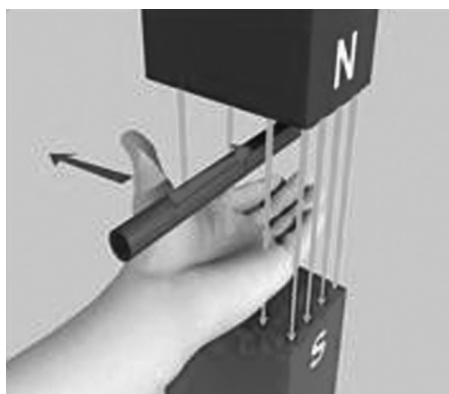
СИЛА АМПЕРА. Ви переконалися на дослідах, що провідник рухається внаслідок взаємодії магнітного поля, створеного струмом, та магнітного поля постійного магніту. Таким чином, на провідник з боку магнітного поля діє механічна сила, яку називають *силою Ампера* та позначають \vec{F}_A (рис. 7.2, а).

Сила Ампера є сумарним результатом дії магнітного поля на окремі рухомі заряджені частинки, які створюють струм у провіднику. Напрямок дії магнітного поля на провідник зі струмом, тобто напрямок сили Ампера, визначається напрямком як струму в провіднику, так і магнітного поля, в якому він розміщений.

Для визначення напрямку сили Ампера можна скористатися так званим правилом лівої руки (рис. 7.2, б): *якщо ліву руку розташувати так, щоб магнітні лінії входили в долоню (долонню до північного полюса постійного магніту), а чотири пальці вказували напрямок струму в провіднику, то великий палець, відігнутий на 90° , вкаже напрям сили, яка діє на провідник зі струмом із боку магнітного поля (сили Ампера).*



а)



б)

Рис. 7.2. Сила Ампера:

а) на провідник зі струмом у магнітному полі діє механічна сила — сила Ампера \vec{F}_A ; б) визначення напрямку сили Ампера за правилом лівої руки

Відповідно, знаючи напрямок сили Ампера та напрямок ліній магнітного поля можна визначити напрямок струму в провіднику (полюси джерела струму). Або, знаючи напрямок струму в провід-

нику та напрямком сили Ампера, можна легко визначити полюси магнітного поля.

Експериментально було встановлено, що сила Ампера, яка діє на провідник у магнітному полі, тим більша, чим більший струм проходить по провіднику і чим сильніше магнітне поле, в якому він розміщений. Тобто сила Ампера пропорційна силі струму в провіднику I та індукції магнітного поля B . Також сила Ампера залежить від довжини провідника l та його розташування в магнітному полі.

Величину сили Ампера, що діє на провідник зі струмом в однорідному магнітному полі ($\vec{B} = \text{const}$), обчислюють за формулою:

$$F_A = B I \Delta l \sin \alpha,$$

де B — значення індукції магнітного поля; I — сила струму в провіднику; Δl — довжина ділянки провідника, що перебуває в однорідному магнітному полі; α — кут між напрямком струму I у провіднику та вектором індукції магнітного поля \vec{B} .

Максимальне значення сили Ампера $F_{A_{\max}} = B I \Delta l$, що діє на провідник зі струмом у магнітному полі, досягається, коли провідник розташований перпендикулярно до ліній індукції магнітного поля. При цьому кут між напрямком струму I в провіднику та вектором індукції магнітного поля дорівнює $\alpha = 90^\circ$, а $\sin 90^\circ = 1$.

Оскільки за величиною індукції магнітного поля оцінюють його силову дію, тобто індукція магнітного поля є його силовою характеристикою, то модуль вектора магнітної індукції в кожній точці магнітного поля визначається силою, що діє на ділянку провідника зі струмом.

Тому за одиницю магнітної індукції в СІ беруть магнітну індукцію поля, в якому на провідник довжиною 1 м зі струмом 1 А діє сила 1 Н. Цю одиницю називають *тесла* (Тл):

$$1 \text{ Тл} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}.$$

РАМКА ЗІ СТРУМОМ У МАГНІТНОМУ ПОЛІ. У дослідах із підковоподібним магнітом ви побачили, що провідник зі струмом або виштовхується назовні, або втягується всередину під дією сили Ампера. А як буде поводитися в магнітному полі провідник зі струмом довільної форми? Виготовимо з провідника прямокутну рамку та розташуємо її всередині підковоподібного магніту (рис. 7.3).

Вертикальні сторони рамки є ділянками прямого провідника зі струмом, і на них діє сила Ампера. Ці провідники мають однакову довжину і по них проходить струм однакової величини у протилежних напрямках. Тому на сторони рамки діють сили,

однакові за величиною та протилежні за напрямком. Під дією цих сил рамка зі струмом повертається в магнітному полі. Якщо змінити полярність джерела струму, до якого під'єднана рамка, або поміняти місцями полюси магніту, рамка повертатиметься у протилежному напрямку.

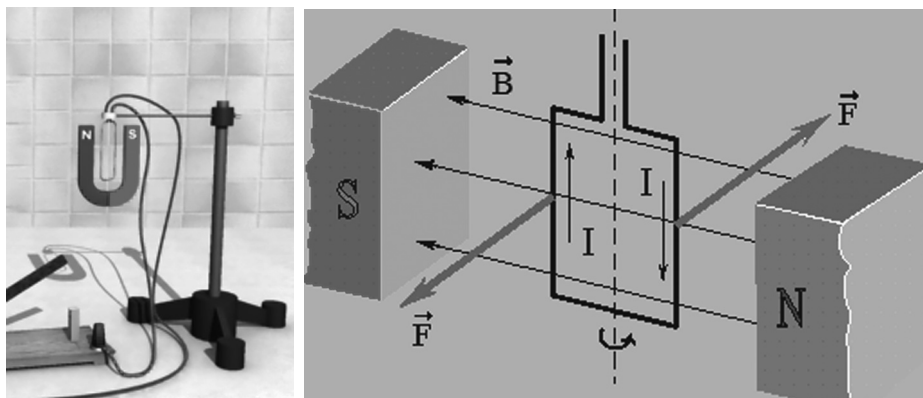


Рис. 7.3. Рамка зі струмом у полі постійного магніту повертається під дією сили Ампера

! Головне в цьому параграфі

На провідник із боку магнітного поля діє механічна сила, яку називають силою Ампера та позначають \vec{F}_A .

Сила Ампера є сумарним результатом дії магнітного поля на окремі рухомі заряджені частинки, які створюють струм у провіднику.

Напрямок сили Ампера визначають за правилом лівої руки: якщо ліву руку розташувати так, щоб магнітні лінії входили в долонею (долонею до північного полюса постійного магніту), а чотири пальці вказували на напрямок струму в провіднику, то великий палець, відігнутий на 90° , вкаже напрямок сили, яка діє на провідник зі струмом із боку магнітного поля (сили Ампера).

Величину сили Ампера, що діє на провідник зі струмом в однорідному магнітному полі ($\vec{B} = \text{const}$), обчислюють за формулою: $F_A = B I \Delta l \sin \alpha$.

Модуль вектора магнітної індукції в кожній точці магнітного поля визначається силою, що діє на ділянку провідника зі струмом. За одиницю магнітної індукції в СІ беруть магнітну індукцію поля, в якому на провідник довжиною 1 м зі струмом 1 А діє сила 1 Н. Цю одиницю називають тесла (Тл): $1 \text{ Тл} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}$.

Провідна рамка зі струмом повертається в зовнішньому магнітному полі.

? Запитання для самоперевірки

1. Які досліди підтверджують дію магнітного поля на провідник зі струмом?
2. Що називають силою Ампера?
3. Від чого залежить напрям сили Ампера?
4. Як визначають напрям сили Ампера?
5. За якою формулою обчислюють величину сили Ампера?
6. Чому рамка зі струмом повертається в зовнішньому магнітному полі?

Вправа до § 7

- 1 (с). Порівняйте силу Ампера, що діє на два провідники, виготовлені з одного й того ж матеріалу та з однаковим поперечним перерізом, які розміщені в зовнішньому магнітному полі під одним і тим самим кутом до напрямку поля, якщо довжина першого провідника 12 см, а сила струму в ньому 1 А, довжина другого 4 см, а сила струму в ньому 3 А.
- 2 (с). Визначте напрямок дії сили Ампера на провідник зі струмом у зовнішньому магнітному полі (рис. 7.4).
- 3 (д). Прямий провідник довжиною 30 см розміщений у магнітному полі з індукцією 0,4 Тл перпендикулярно до його силових ліній. Визначте силу струму в провіднику, якщо магнітне поле діє на нього з силою 24 мН.
- 4 (д). Визначте полярність підключення провідника, розміщеного в зовнішньому магнітному полі, що діє на нього як показано на рис. 7.5.
- 5 (в). Доведіть, що два паралельні прямі провідники, в яких струм тече в одному напрямку, відштовхуються.

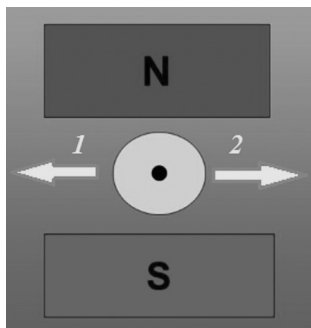


Рис. 7.4

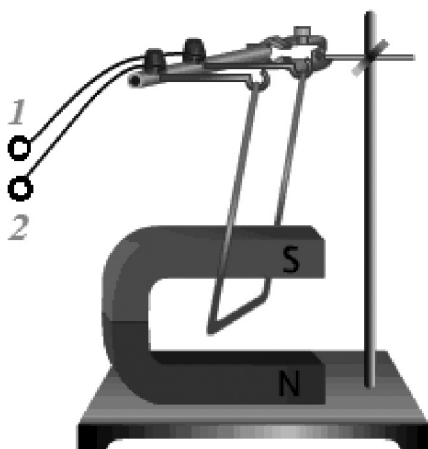


Рис. 7.5

Вчимося розв'язувати фізичні задачі на силову дію магнітного поля

Для того, щоб успішно розв'язувати якісні та кількісні фізичні задачі на силову дію однорідного магнітного поля на провідник зі струмом, потрібно пригадати та врахувати особливості магнітної взаємодії. Зокрема:

1. На прямий провідник зі струмом в однорідному магнітному полі діє сила Ампера, модуль якої визначається за формулою $F_A = BI\Delta l \sin \alpha$, де B — значення індукції магнітного поля; I — сила струму у провіднику; Δl — довжина ділянки провідника, що перебуває в однорідному магнітному полі; α — кут між напрямком струму I у провіднику та вектором індукції магнітного поля \vec{B} .

2. Потрібно враховувати, що вектор \vec{F}_A завжди перпендикулярний площині, в якій лежать провідник зі струмом та вектор \vec{B} , а зв'язок між напрямком вектора сили Ампера, струму та вектора магнітної індукції встановлюється за правилом лівої руки.

Фізичні задачі на силову дію магнітного поля зручно розв'язувати за такою схемою (алгоритмом):

а) після аналізу та запису умови задачі зробити рисунок, на якому вказати провідник зі струмом та напрямок ліній магнітної індукції.

Позначити кути між напрямком вектора \vec{B} та ділянкою провідника;

б) використовуючи правило лівої руки, визначити напрямок сили, з якою магнітне поле діє на провідник зі струмом (сили Ампера);

в) використовуючи формулу $F_A = BI\Delta l \sin \alpha$, визначити шукану фізичну величину, що входить у вираз для сили, яка діє в магнітному полі на провідник зі струмом.

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Визначте модуль сили Ампера, яка діє на провідник зі струмом завдовжки 20 см, розміщений у магнітному полі індукцією 0,4 Тл перпендикулярно до вектора його магнітної індукції. Сила струму в провіднику дорівнює 0,5 А.

Дано:

$$l = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$$

$$B = 0,4 \text{ Тл}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$I = 0,5 \text{ А}$$

Розв'язок

На провідник зі струмом у магнітному полі діє сила

$$F_A = BI\Delta l \sin \alpha.$$

Підставимо значення всіх фізичних величин, врахувавши, що $\sin 90^\circ = 1$

$$F_A = 0,4 \text{ Тл} \cdot 0,2 \text{ А} \cdot 0,5 \text{ м} \cdot 1 = 0,04 \text{ Н}.$$

F_A — ?

Відповідь: модуль сили дорівнює 0,04 Н.

Задача 2. Під яким кутом до силових ліній магнітного поля з індукцією 0,04 Тл розмістили провідник довжиною 25 см, по якому тече електричний струм 0,25 А, якщо на нього діє сила Ампера величиною 1,25 мН?

Дано:

$$Dl = 25 \text{ см} = 0,25 \text{ м}$$

$$B = 0,04 \text{ Тл}$$

$$I = 0,25 \text{ А}$$

$$F_A = 1,25 \text{ мН} = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$$

α — ?

Розв'язок

На провідник зі струмом у магнітному полі діє сила

$$F_A = BIl \sin \alpha.$$

Виразимо шукану величину: $\sin \alpha = \frac{F_A}{BIl}$;

$$\alpha = \arcsin \frac{F_A}{BIl}.$$

Підставимо значення фізичних всіх величин:

$$\alpha = \arcsin \frac{1,25 \cdot 10^{-3} \text{ Н}}{0,04 \text{ Тл} \cdot 0,25 \text{ А} \cdot 0,25 \text{ м}} = \arcsin 0,5 = 30^\circ,$$

$$\alpha = 30^\circ.$$

Відповідь: провідник розміщено під кутом $\alpha = 30^\circ$.

Це цікаво

Ви вже знаєте, що силова дія магнітного поля характеризується такою фізичною величиною, як магнітна індукція, та вимірюється в теслах [Тл]. Як ви гадаєте, чи є потужним магнітне поле величиною 1 Тл? Для того щоб відповісти на це запитання, порівнюємо магнітні поля, з якими людина стикається в природі, на виробництві, під час наукових досліджень, у медицині та побуті.

Так, середнє значення індукції магнітного поля Землі становить близько 50 мкТл ($50 \cdot 10^{-6}$ Тл), Юпітера — 1400 мкТл, Сонця — 0,4 Тл.

Медичні прилади для магнітотерапії генерують поле з індукцією приблизно 50 мТл. Магнітне поле сепаратора для очищення зернових куль-

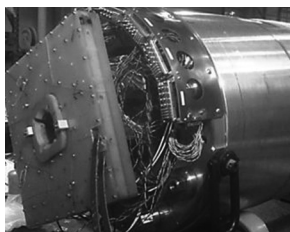


Рис 1.
Чотирипольсний електромагніт адронного колайдера



Рис 2. Постійний магніт з індукцією 25 Тл, створений у Національній лабораторії потужних магнітних полів штату Флорида (США)



Рис. 3. Індукція магнітного поля магнітотерапевтичної установки дорівнює близько 3 мТл всередині соленоїда та приблизно 30 мТл біля нього

тур становить 159 мТл. Магнітний побутовий тримач з індукцією 1,3 Тл витримує вантаж більше 100 кг. Індукція магнітного поля лабораторних магнітів, як правило, не перевищує 5 Тл. Чотириполюсний електромагніт адронного колайдера створює магнітне поле з індукцією 12 Тл.

У 1991 р. французькі вчені створили постійний магніт із індукцією 17,5 Тл. У 2011 р. фахівці Національної лабораторії потужних магнітних полів штату Флорида створили постійний магніт з індукцією 25 Тл. Згодом їм вдалося отримати найпотужніший на сьогодні постійний магніт з індукцією близько 45 Тл. У 2016 р. китайські вчені створили постійний магніт з індукцією близько 40 Тл, який став другим за потужністю у світі.

§ 8. Застосування сили Ампера.

Електродвигун постійного струму

- *Застосування сили Ампера. Електровимірювальні прилади*
- *Електричний двигун постійного струму*

ЗАСТОСУВАННЯ СИЛИ АМПЕРА. ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ. Під дією сили Ампера прямолінійний провідник зі струмом у магнітному полі рухається, а рамка повертається. Принцип дії багатьох промислових та побутових приладів ґрунтується на використанні повертання провідника зі струмом у магнітному полі.

Так, явище повертання рамки зі струмом у магнітному полі, з яким ви ознайомилися у попередньому параграфі, покладене в основу конструкції так званих аналогових електровимірювальних приладів. Вони й сьогодні використовуються поруч із цифровими приладами для вимірювання таких електричних величин, як сила струму, напруга, опір, потужність та ін. (рис. 8.1).

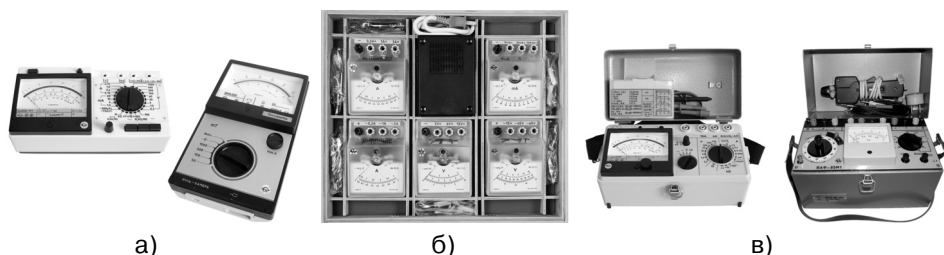


Рис. 8.1. Електровимірювальні прилади, виготовлені на вітчизняному підприємстві «Електровимірювач», м. Житомир:

- а) багатофункціональні аналогові прилади для вимірювання сили струму, напруги, опору, електричної ємності; б) шкільні лабораторні вимірювальні прилади; в) електровимірювальні прилади, що використовуються в промисловості, на залізничному транспорті та в енергетиці

Розглянемо принцип дії електровимірювальних приладів двох найчастіше застосовуваних систем: магнітоелектричної та елек-

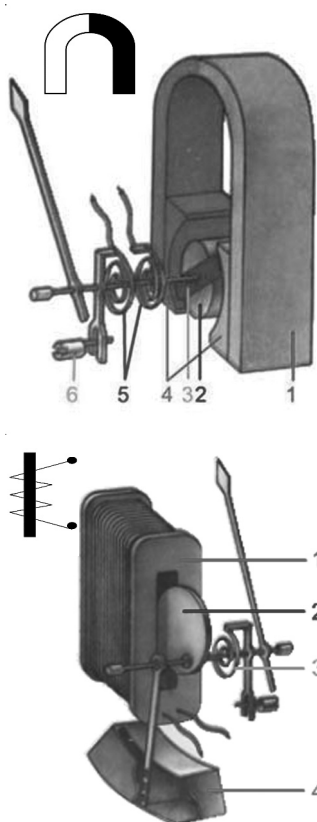


Рис. 8.2. Будова та умовні позначення електровимірювальних приладів:
а) магнітоелектричної системи;
б) електромагнітної системи

а) тромагнітної. В основу дії приладів магнітоелектричної системи покладено принцип взаємодії магнітних полів: магнітного поля котушки, через яку пропускають електричний струм, та магнітного поля, створеного постійним магнітом (рис. 8.2, а).

Рамка зі струмом 3 обертається між полюсами 4 постійного магніту 1. На її осьовому стрижні розміщено спіральні пружини, виготовлені з латуні. Вони утримують рамку та стрілку в певному положенні та, крім того, з їх допомогою підводять електричний струм до рамки. Коректор 5 використовується для встановлення на нульову позначку стрілки приладу.

У процесі електричних вимірювань крізь витки рамки проходить електричний струм і на неї з боку магнітного поля постійного магніту діє сила Ампера. Рамка повертається доти, доки сила Ампера не зрівноважиться силою пружності спіральних пружин. Сила Ампера прямо пропорційна силі струму в рамці. Чим більша сила струму, що протікає по котушці рамки, тим на більший кут повертається стрілка приладу.

У приладах електромагнітної системи використовується принцип взаємодії магнітного поля нерухомої котушки зі струмом і рухомої металевої пластинки, намагніченої цим полем (рис. 8.2, б).

Витками нерухомої котушки 1 пропускають електричний струм. Магнітне поле, що виникає навколо неї, втягує металеве осердя 2. Осердя втягується всередину котушки 1, повертаючись навколо осі, на якій воно закріплене. На тій самій осі розміщено стрілку та спіральну пружину, зовнішній кінець якої прикріплено до коромисла коректора. Повертання осердя відбувається доти, доки дія магнітних сил не зрівноважиться силою пружності спіральної пружини. Для сповільнення коливань стрілки вимірювального приладу на загальній осі обертання прикріплюють так званий демпфер 4 (заспокоювач). Коливання стрілки приладу загашуються завдяки лопатці демпфера.

На електричних схемах електровимірювальні прилади розглянутих систем зображають за допомогою умовних позначень (рис. 8.2).

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ДВИГУН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ. Ви вже знаєте, що рамка зі струмом повертається в магнітному полі постійного магніту так, щоб розташуватися перпендикулярно до його силових ліній. Після цього вона зупиняється. Як можна досягти того, щоб рамка зі струмом оберталася у полі постійного магніту?

Для того щоб рамка продовжила обертання в тому самому напрямку, потрібно поміняти полюси магніту або напрямок струму в провіднику. Оскільки змінювати полюси постійного магніту конструктивно складно, тому через кожних півоберта рамки потрібно змінювати напрямок струму в ній на протилежний.

Розглянемо прилад, який складається з провідної рамки, закріпленої вертикально (рис. 8.3, а). Кінці обмотки приєднані до двох півкілець 1, 2, які притискаються до металевих щіток 3. Щітки з'єднані з клемми для підведення струму від джерела. Рамка розміщена в магнітному полі постійного магніту.

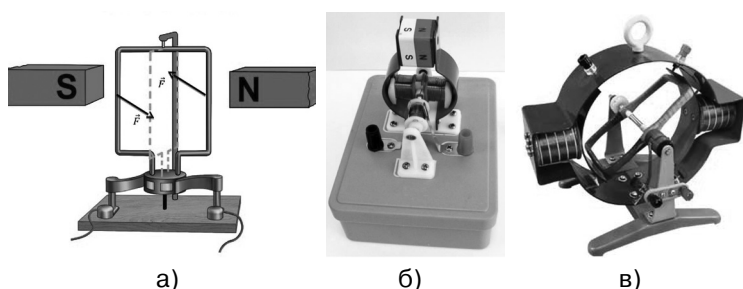


Рис. 8.3. Модель електродвигуна постійного струму:

- а) обертання рамки зі струмом у магнітному полі; б) модель електродвигуна, в якому магнітне поле створюється постійним магнітом; в) модель електродвигуна, в якому магнітне поле створюється електромагнітом

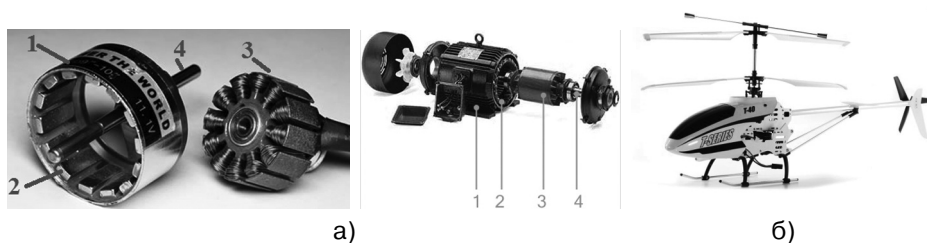
Після увімкнення електричного струму рамка під дією сили Ампера повертається в магнітному полі постійного магніту та зупиняється, розташувавшись перпендикулярно до його силових ліній. Під час руху рамки разом із нею повертаються на півкільця. При цьому кожне півкільце сполучається з іншою щіткою, приєднаною до протилежного полюса джерела струму. Зміна щітки, що притискає півкільце, зумовлює зміну напрямку струму в рамці на протилежний. Рамка продовжить повертатися в тому самому напрямку. Півкільця знову поміняються місцями, зміниться напрямок струму в рамці — рамка обертатиметься.

Швидкість обертання рамки зі струмом у магнітному полі залежить від сили струму в ній та магнітного поля постійного магніту. Якщо змінити полярність увімкнення рамки, то вона буде обертатися у протилежному напрямку. Ця рамка зі струмом, що обертается в магнітному полі, є моделлю найпростішого *електродвигуна*. Рамка зі струмом може обертатися як у полі по-

стійного магніту (рис. 8.3, б), так і в магнітному полі, що створюється котушками зі струмом (електромагнітами) (рис. 8.3, в).

Електродвигун — пристрій, у якому енергія електричного струму перетворюється в механічну.

Електродвигун постійного струму (рис. 8.4, а) складається з корпусу 1, у якому закріплено постійний магніт 2 та вал 4. На вал електродвигуна закріплюється якір 3. Якір являє собою обмотку, виготовлену з великої кількості витків ізолюваного дроту, намотану вздовж бічної поверхні сталевого циліндра (для підсилення магнітного поля). Вал електродвигуна з'єднують із приводами різноманітних машин та механізмів. Якір малопотужних двигунів (наприклад, для електроіграшок) (рис. 8.4, б) обертається в магнітному полі постійного магніту. У промислових електродвигунах великої потужності магнітне поле створюється електромагнітом.



8.4. Електродвигуни постійного струму:

- а) будова електродвигуна постійного струму;
- б) малопотужні двигуни постійного струму використовуються в електроіграшках

Електродвигуни постійного струму широко використовуються в обробній та видобувній промисловості, на транспорті. Двигуни вітчизняного виробництва приводять у рух різноманітні верстати, підйомники, екскаватори, прокатні стани, бурові установки (рис. 8.5).

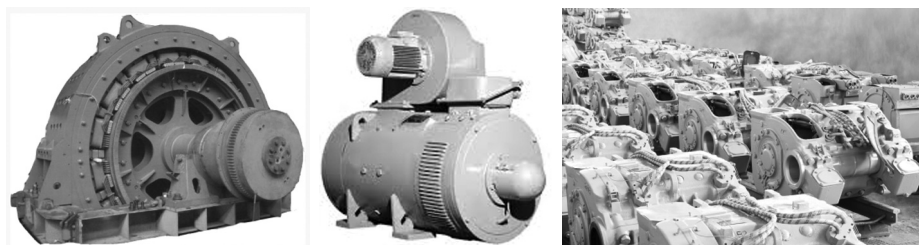


Рис. 8.5. Потужні промислові електродвигуни постійного струму виробництва підприємства «Електроважмаш», м. Харків

У побуті широко використовуються прилади, що працюють завдяки електродвигунам змінного струму: електрична кавомолка, міксер, фен та ін. (рис. 8.6).

Широкого використання електричні двигуни набули завдяки важливим перевагам порівняно з іншими двигунами. Зокрема, електродвигуни компактні, не забруднюють навколишнє середовище, витрачають порівняно мало енергії. Електричні двигуни мають найвищий ККД серед двигунів — близько 95 %. Розвиток транспорту пов'язують, зокрема, з поширенням електромобілів (рис. 8.6).

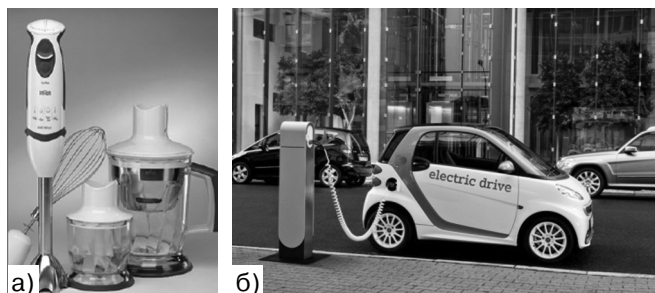


Рис. 8.6. Використання електродвигунів:
а) електродвигуни встановлюють у багатьох сучасних побутових пристроях;
б) електромобілі — екологічно чистий вид транспорту

! Головне в цьому параграфі

В основу конструкції аналогових електровимірювальних приладів покладено явище повертання рамки зі струмом у магнітному полі.

Дія приладів магнітоелектричної системи ґрунтується на принципі взаємодії магнітних полів: магнітного поля котушки, крізь яку пропускають електричний струм, та магнітного поля, створеного постійним магнітом.

У приладах електромагнітної системи використовується принцип взаємодії магнітного поля нерухомої котушки зі струмом і рухомої металевої пластинки, намагніченої цим полем.

Електродвигун — пристрій, у якому енергія електричного струму перетворюється в механічну.

Електродвигуни набули поширення, оскільки вони компактні, не забруднюють навколишнє середовище, витрачають порівняно мало енергії, їх ККД найвищий серед двигунів і становить близько 98 %.

? Запитання для самоперевірки

1. Яке фізичне явище лежить в основі принципу дії електровимірювальних приладів магнітоелектричної та електромагнітної системи?
2. Що таке електродвигун постійного струму? Які його основні складові?
3. Чому обмотку якоря електродвигуна виготовляють із великої кількості витків дроту?

4. Наведіть приклади використання електродвигунів у побуті та техніці.
5. Чому електродвигуни набувають дедалі більшого поширення? Які переваги вони мають порівняно з іншими двигунами?

Вправа до § 8

- 1 (с). Яка конструктивна особливість забезпечує обертання рамки в магнітному полі?
- 2 (с). Як можна змінити напрямок обертання вала електродвигуна?
- 3 (д). Визначте напрямок обертання рамки в магнітному полі (рис. 8.7).
- 4 (д). Чому в статорах потужних електродвигунів використовують не постійні магніти, а котушки з багатьох витків ізоляованого дроту? Поясніть відповідь.
- 5 (в). Як можна збільшити потужність електродвигуна постійного струму. Відповідь обґрунтуйте.

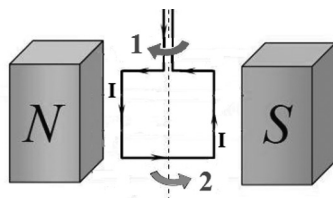


Рис. 8.7. До завдання 3

§ 9. Досліди Фарадея. Електромагнітна індукція

- Досліди Фарадея. Індукційний струм
- Явище електромагнітної індукції. Напрямок індукційного струму

ДОСЛІДИ ФАРАДЕЯ. ІНДУКЦІЙНИЙ СТРУМ. Вам уже відомо, що навколо будь-якого провідника зі струмом існує магнітне поле, що взаємодіє з магнітними полями постійних магнітів та електромагнітів постійного струму. Це є підтвердженням того, що між електричними та магнітними явищами спостерігається тісний взаємозв'язок, а електричне й магнітне поле є виявом єдиного електромагнітного поля.

У попередніх параграфах розглядалася взаємодія магнітних полів, що виникають навколо постійних магнітів і постійних електричних струмів у нерухомих провідниках. Надзвичайно цікавими та важливими для сучасної науки і техніки є явища в магнітних полях, що змінюються з часом. Переконатися в цьому ви зможете, виконавши прості досліди. Під'єднаємо до демонстраційного гальванометра котушку. Стрілка приладу розташована на нульовій позначці. Це означає, що струму в котушці немає. Візьмемо лабораторний штабовий магніт та будемо вводити його всередину котушки. При цьому стрілка приладу буде відхилятися, наприклад, праворуч — гальванометр показує виникнення в

котушці електричного струму (рис. 9.1, а). Коли повністю ввести магніт у котушку та залишити його в стані спокою, стрілка повернеться на нульову позначку (рис. 9.1, б). Під час виведення магніту з котушки стрілка гальванометра відхилилася, але вже в інший бік — у котушці виникає струм, який тече в протилежному напрямку (рис. 9.1, в). Після того як магніт повністю буде виведений із котушки, стрілка гальванометра повернеться до нульової позначки — струму в колі не буде.

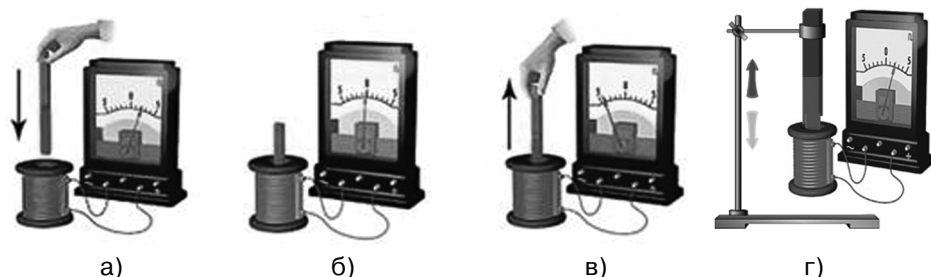


Рис. 9.1. Виникнення електричного струму під час відносного руху магніту та провідника

Якщо закріпити постійний магніт у штативі та рухати котушку, вводючи в неї магніт, гальванометр також покаже виникнення електричного струму в колі (рис. 9.1, г).

Таким чином, **електричний струм виникає у замкнутому провіднику під час відносного руху магніту та провідника.**

У попередніх дослідах провідник (обмотка котушки) взаємодіє з магнітним полем постійного магніту. А чи можна спостерігати явище виникнення електричного струму в провіднику, який взаємодіє з магнітним полем провідника зі струмом? Виконаємо дослід із котушкою, в яку вводиться соленоїд, з'єднаний з джерелом струму (рис. 9.2, а).

Під час введення або виведення соленоїда зі струмом із котушки гальванометр фіксуватиме виникнення електричного струму.

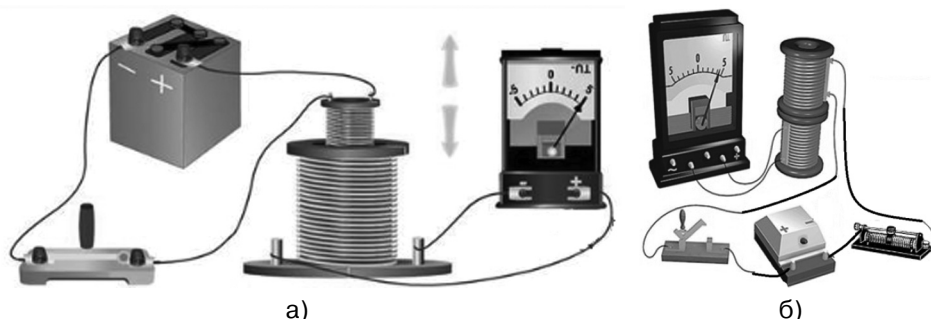
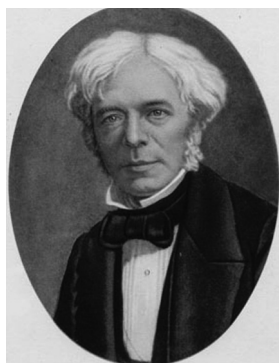


Рис. 9.2. Виникнення електричного струму під час взаємодії двох котушок



Майкл Фарадей (1791—1867), видатний англійський учений, один із основоположників вчення про електромагнітне поле, який відкрив явище електромагнітної індукції

У цьому досліді котушка взаємодіє з магнітним полем соленоїда, який рухається, — у колі виникає електричний струм.

Магнітне поле, що взаємодіє з провідником, можна змінювати не лише внаслідок відносного руху провідника та постійного магніту або соленоїда. Надінемо на спільне осердя дві нерухомі котушки, одна з яких з'єднана з гальванометром, а інша включена послідовно з джерелом струму, вимикачем та реостатом (рис. 9.2, б). У момент замикання або розмикання електричного кола в одній котушці, в обмотці іншої, з'єднаної з гальванометром, виникатиме електричний струм. Через деякий час стрілка гальванометра повертатиметься до нульової позначки незалежно від того, в якому положенні перебуває вимикач.

Струм у нижній котушці виникає й у момент пересування повзунка реостата — збільшення або зменшення сили струму у верхній котушці зумовлює появу електрич-

ного струму в нижній котушці.

Отже, під час вмикання-вимикання струму або переміщення повзунка реостата в першій котушці відбувається зміна магнітного поля, що утворюється навколо неї. Під час замикання електричного кола котушки виникає магнітне поле, а під час розмикання — зникає. Під час руху повзунка реостата, увімкненого послідовно з однією з котушок, збільшується або зменшується сила струму в провіднику, та, відповідно, магнітне поле струму.

Електричний струм, який виникає в провіднику в разі змін магнітного поля, називають *індукційним*.

Вперше в історії фізики досліди з отримання індукційного струму виконав видатний англійський вчений Майкл Фарадей. Обґрунтувавши взаємозв'язок електричних та магнітних явищ, він заклав підвалини вчення про електромагнітне поле.

ЯВИЩЕ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ. НАПРЯМОК ІНДУКЦІЙНОГО СТРУМУ. На основі численних фізичних дослідів (рис. 9.3) у 1831 р. М. Фарадей відкрив та описав явище виникнення в провіднику, вміщеному в магнітне поле, індукційного струму:

електричний струм у замкненому провіднику виникає за умови зміни магнітного поля, в якому він вміщений.

Виникнення індукційного струму пов'язане зі змінами магнітного поля незалежно від причини цих змін.

Виникнення індукційного струму в замкнутому провіднику, вміщеному в магнітне поле, є наслідком явища *електромагнітної індукції*:

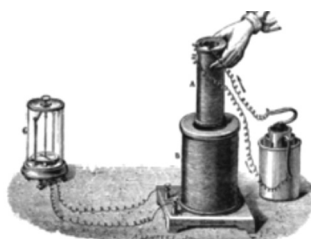


Рис. 9.3. Історичний фундаментальний дослід М. Фарадея з експериментального відкриття явища електромагнітної індукції

явище виникнення електричного струму в замкнутому провіднику, вміщеному в змінне магнітне поле, називається електромагнітною індукцією.

Явище електромагнітної індукції лежить в основі одного з фундаментальних законів електромагнетизму — закону Фарадея, з яким ви ознайомитися в старшій школі.

У описаних дослідах з електромагнітної індукції ви побачили, що індукційний струм в провіднику може мати два протилежні напрями. Напрямок індукційного струму визначається за правилом, сформульованим у 1834 р. російським фізиком Е. Х. Ленцом:

індукційний струм у замкнутому провіднику має такий напрям, що створюване ним магнітне поле протидіє зміні магнітного поля, що зумовила цей струм.

Індукційний струм, який виникає в провіднику внаслідок зміни магнітного поля, породжує власне магнітне поле, що протидіє зовнішньому. Правило Ленца є виявом закону збереження і перетворення енергії в електромагнітних процесах. Енергія індукційного струму в провіднику дорівнює тій роботі, яка виконується для подолання протидії магнітного поля індукційного струму.

На практиці напрямки індукційного струму в замкнутому провіднику визначають за правилом правої руки (рис. 9.4):

якщо праву руку розмістити в магнітному полі таким чином, щоб лінії магнітної індукції входили в долоню, відставлений великий палець відповідав би напрямку руху провідника, то витягнуті пальці руки вказуватимуть напрямок індукційного струму в провіднику.

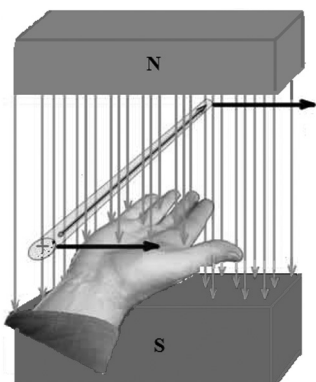


Рис. 9.4. Визначення напрямку індукційного струму за правилом правої руки

Напрямок індукційного струму у коловому витку зручно визначати за правилом свердлика, врахувавши, що власне магнітне поле струму протидіє магнітному полю, яке зумовлює індукційний струм. Наприклад, якщо постійний магніт вводиться в коловий виток (рис. 9.5), то у витку виникає індукційний струм такого напрямку, щоб створене ним магнітне поле протидіяло зовнішньому магнітному полю, тобто полюси електромагніта, яким стає виток зі струмом, та постійного магніту були однойменними.

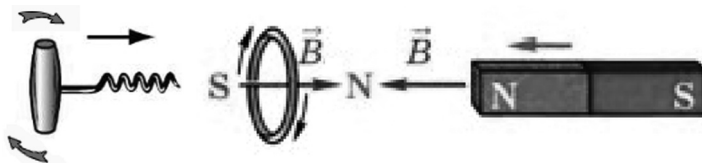


Рис. 9.5. Визначення напрямку індукційного струму в коловому витку за правилом свердлика

На рис. 9.6. показано приклад визначення напрямку індукційного струму в котушці для різних варіантів взаємодії котушки та постійного магніту.

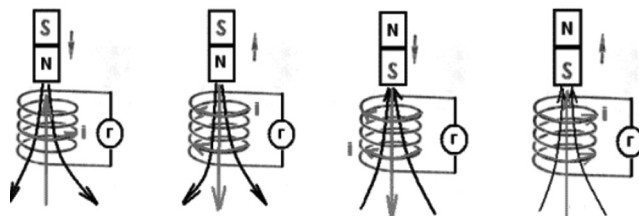


Рис. 9.6. Визначення напрямку індукційного струму в котушці для різних варіантів її взаємодії з постійним магнітом

Якщо індукційний струм створюється в котушці не постійним магнітом, а соленоїдом зі струмом, то напрямок індукційного струму протилежний напрямкові струму джерела.

! Головне в цьому параграфі

Досліди М. Фарадея демонструють, що під час відносного руху провідника та магніту в замкнутому провіднику виникає електричний струм.

Електричний струм, який виникає в замкнутому провіднику в разі змін магнітного поля, називають індукційним.

Явище електромагнітної індукції полягає у виникненні електричного струму в замкнутому провіднику, вміщеному в магнітне поле, яке змінюється.

Індукційний струм у замкнутому провіднику має такий напрямок, що створюване ним магнітне поле протидіє зміні магнітного поля, що зумовила цей струм.

Напрямок індукційного струму в замкнутому провіднику визначають за правилом правої руки: якщо праву руку розмістити в магнітному полі так, щоб лінії магнітної індукції входили в долоню, відставлений великий палець відповідав би напрямку руху провідника, то витягнуті пальці руки вказуватимуть напрямок індукційного струму в провіднику.

? Запитання для самоперевірки

1. У чому полягають зміст і значення дослідів М. Фарадея з електромагнітної індукції?
2. На підставі чого можна зробити висновок, що електричні та магнітні явища є виявом єдиного електромагнітного поля?
3. Що називають індукційним струмом?
4. За яких умов у провіднику виникає індукційний струм?
5. У чому полягає явище електромагнітної індукції?
6. Як визначають напрямок індукційного струму?

Вправа до § 9

- 1 (д). Поясніть, чому правило Ленца є виявом закону збереження в електромагнітних явищах.
- 2 (д). Визначте напрямок індукційного струму в провідниках, що рухаються в магнітному полі як показано на рис. 9.7.

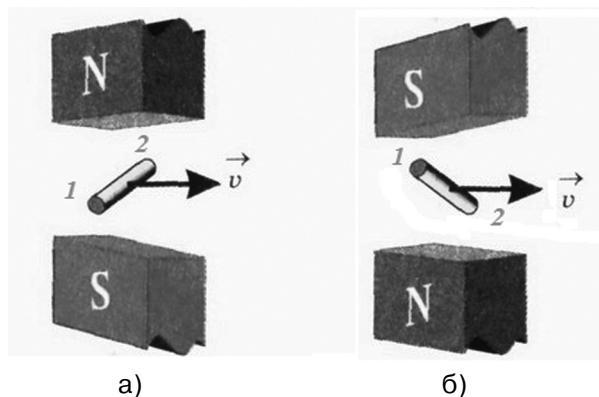


Рис. 9.7. До завдання 2

§ 10. Генерування індукційного струму. Промислові джерела електричної енергії

- Генерування індукційного струму
- Промислові генератори електричного струму

ГЕНЕРУВАННЯ ІНДУКЦІЙНОГО СТРУМУ. Ви ознайомилися з дослідями М. Фарадея та явищем електромагнітної індукції, внаслідок якого в замкнутому провіднику у змінному магнітному полі виникає (індукується) електричний струм. А чи доводилося вам самостійно «добувати» електричний струм? Якщо у вас є велосипед із системою освітлення, то для отримання електричного струму ви використовуєте велосипедне динамо — найпростіший механічний генератор електричного струму, пристрій, який працює за принципом електромагнітної індукції та перетворює механічну енергію руху в електричну (рис. 10.1).



Рис. 10.1. Велосипедне динамо — найпростіший генератор електричного струму:

- а) велосипедне динамо, яке приводиться в рух під час контакту з ободом колеса;
- б) велосипедне динамо, вмонтоване у втулку колеса велосипеда

Пристрій, у якому механічна енергія перетворюється в електричну, називають генератором електричного струму.

Для того щоб з'ясувати принцип генерування індукційного струму, виконаємо дослід із моделлю генератора електричного струму.

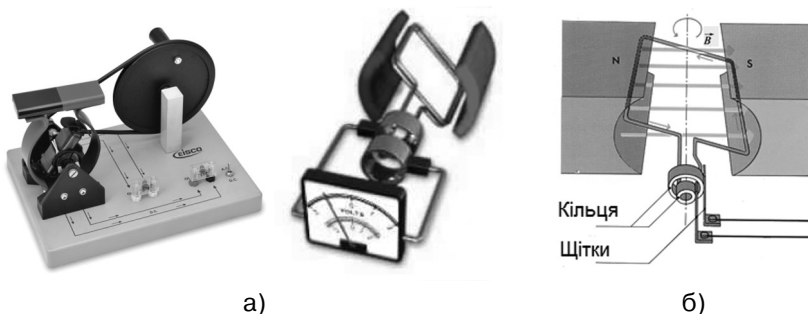


Рис. 10.2. Генерування індукційного струму: а) модель генератора електричного струму; б) принцип генерування індукційного струму

Він складається з рамки, виготовленої з кількох витків провідника, закріпленої на валу разом із провідними кільцями, до яких прилягають контактні щітки. Вони, у свою чергу, з'єднані з провідниками, які можна підключити, наприклад, до гальванометра. Рамка розміщена в корпусі з постійним магнітом. На одному з кінців вала закріплено невеликий шків, що за допомогою паска з'єднується з великим шківом із ручкою (рис. 10.2, а). Якщо обертати ручку великого шківів, то рамка теж буде обертатися в магнітному полі постійного магніту. При цьому кількість магнітних ліній, які пронизують рамку, та, відповідно, магнітне поле постійно змінюватимуться — у рамці внаслідок явища електромагнітної індукції виникатиме індукційний струм.

Під час обертання рамки кожна з її частин по черзі проходить чи то біля північного, чи то біля південного полюсів постійного магніту. Відповідно, відносно рамки буде змінюватися напрямок вектора індукції магнітного поля \vec{B} . Тому електричний струм, який індукується в рамці, буде щоразу змінювати свій напрямок згідно з правилом Ленца, що можна спостерігати за допомогою гальванометра. Таким чином, у провідній рамці, що обертається в магнітному полі, генерується так званий *змінний електричний струм*.

Значення генерованого індукційного струму залежить від величини магнітного поля, в якому обертається рамка (тобто від індукції магнітного поля), а також від кількості витків провідника рамки.

Принцип генерування індукційного струму покладено в основу створення генераторів для промислових та побутових потреб.

ПРОМИСЛОВІ ГЕНЕРАТОРИ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ. Основними складовими будь-якого генератора є магніт та обмотка, в якій індукується струм. Кожна з них, залежно від конструктивних особливостей генератора, може бути ротором (рухомою частиною) або статором (нерухомою). У малопотужних генераторах статором є обмотки котушок, які закріплюються нерухомо (рис. 10.3, а). Магнітне поле створюється постійним рухомих магнітом — ротором. Його виготовляють у вигляді чашки, що кріпиться на вісь, з'єднану з валом двигуна таким чином, що котушки опиняються всередині магніту (рис. 10.3, а). Під час обертання ротора в обмотці статора індукується електричний струм. Такі генератори використовуються, наприклад, у мотоциклах для вироблення «іскри» — електричного струму, що запалює горючу суміш двигуна внутрішнього згоряння.

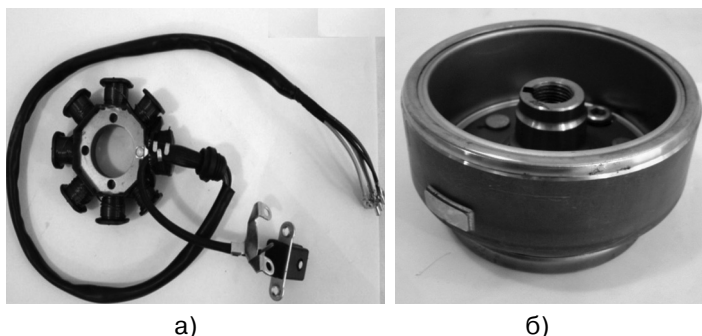
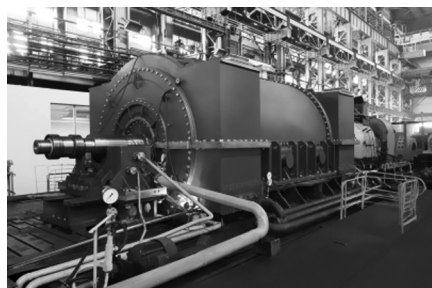
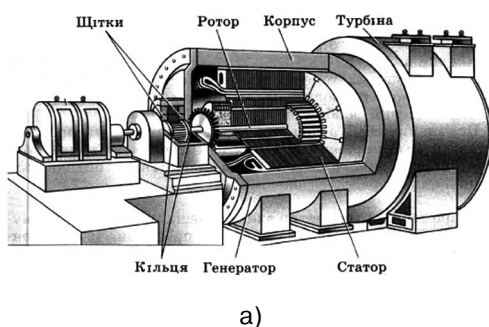


Рис. 10.3. Генератор електричного струму, використовуваний у мотоциклетних двигунах та пускових двигунах потужних машин:
а) статор (обмотки котушок); б) ротор (постійний магніт)

У розглянутому генераторі, так само, як і в досліді з рамкою, магнітне поле створюється постійним магнітом. У потужних промислових генераторах магнітне поле створюється електромагнітом. Тобто такий генератор має дві обмотки: одна розміщена в пазах нерухомого корпуса (статора), а друга — на рухомому валу (роторі) (рис. 10.4, а). На внутрішній поверхні порожнистого



в)

Рис. 10.4. Промислові генератори електричного струму:
а) будова промислового генератора електричного струму;
б) турбогенератор ТГВ — 215 — 2ПТЗ, виготовлений на підприємстві «Електроважмаш» (м. Харків) для ТЕС «Бандель» в Індії;
в) основа статора та ротор гідрогенератора

циліндра розміщується обмотка статора — значна кількість витків ізолюваного мідного дроту з великим поперечним перерізом. Ротор у вигляді металевого циліндра з обмоткою закріплюється на валу і розміщується всередині статора. До обмотки ротора подається постійний струм (збуджувач), який створює магнітне поле. Вал ротора приєднується до турбіни теплової, атомної або гідроелектростанції. Під дією пари або води турбіна обертає ротор генератора, що є електромагнітом. Магнітне поле ротора, яке охоплює провідний статор, змінюється і в контурі статора виникає індукційний струм.

В Україні налагоджено повний цикл виробництва, монтажу та сервісу промислових турбо- та гідрогенераторів потужністю до 1 ГВт, які використовуються для виробництва електроенергії в багатьох країнах (рис. 10.4, б, в).

Генератори середньої потужності використовуються на будівництві, а також для освітлення виробничих і побутових приміщень, коли немає централізованого електропостачання. Мініатюрний ручний генератор дає можливість підзарядити батарею вашого мобільного телефону (рис. 10.5).



Рис. 10.5. Генератори електричного струму

Дедалі більшого поширення набувають вітрогенератори як екологічно чисті джерела електричної енергії.

Усі розглянуті типи генераторів електричного струму, хоча й мають конструктивні особливості, проте в основу їхньої будови покладено спільний принцип — генерування індукційного струму як результат явища електромагнітної індукції, що, у свою чергу, є виявом існування в природі єдиного **електромагнітного поля**.

Крім того, принцип генерування електричного струму є проявом фундаментального закону збереження енергії — механічна енергія води та вітру або внутрішня енергія палива перетворюється в енергію електромагнітного поля.

! Головне в цьому параграфі

В основі генерування електричного струму перебуває явище електромагнітної індукції.

Пристрій, у якому механічна енергія перетворюється в електричну, називають генератором електричного струму.

Значення генерованого індукційного струму залежить від величини магнітного поля, в якому обертається рамка (тобто від індукції магнітного поля), а також від кількості витків провідника рамки.

Промисловими джерелами електричної енергії є потужні генератори, у яких магнітне поле створюється електромагнітом. Такий генератор має дві обмотки: нерухому статора та рухому ротора, який приводиться в рух турбіною теплової, атомної, гідро- або вітроелектростанції.

В основу будови генераторів електричного струму різних типів покладено спільний принцип — генерування індукційного струму як результат явища електромагнітної індукції, що, у свою чергу, є проявом існування в природі єдиного електромагнітного поля.

? Запитання для самоперевірки

1. Що називають генератором електричного струму?
2. Яке явище покладено в основу генерування індукційного струму?
3. Які основні елементи генератора електричного струму?
4. Наведіть приклади використання генераторів електричного струму в техніці та побуті.
5. Яким чином промислові джерела електричної енергії впливають на екологію? Які перспективні напрями розвитку технологій отримання електричної енергії?

Вправа до § 10

- 1 (д). Поясніть, чому в нерухомій обмотці статора промислового генератора виникає індукційний струм.
- 2 (д). Як досягають збільшення величини генерованого електричного струму?
- 3 (в). Чи виникає індукційний струм у провідному ободі колеса велосипеда під час руху?
- 4 (в). Обґрунтуйте положення про те, що генерування електричного струму є практичним підтвердженням фундаментального закону природи — закону збереження та наявності в природі єдиного електромагнітного поля.

Головне в розділі 1

Тіла, які тривалий час зберігають стан намагніченості, називають постійними магнітами або просто магнітами.

У будь-якого магніту обов'язково є два полюси: північний (N) та південний (S). Неможливо отримати магніт з одним полюсом. Різнойменні магнітні полюси притягуються, а однойменні — відштовхуються.

Магнітне поле — одна з форм матерії, яка забезпечує магнітну взаємодію. Найпростішим індикатором магнітного поля є магнітна стрілка.

Магнітні сили діють уздовж замкнених ліній, які називають силовими лініями магнітного поля. Ці лінії магнітного поля не мають ні початку, ні кінця.

Навколо Землі існує магнітне поле. Магнітосфера захищає все живе на нашій планеті від космічної радіації, утворюючи так звані радіаційні пояси Землі.

Магнітне поле існує навколо будь-якого провідника зі струмом. Електричний струм і магнітне поле невідокремлювані одне від одного. Магнітне поле, так само, як і електричне, є окремим явищем електромагнітного поля.

Індукція магнітного поля \vec{B} — це векторна фізична величина, що характеризує силову дію магнітного поля та вимірюється в теслах: $1\text{Тл} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}$.

Напрямок силових ліній магнітного поля визначають за правилом свердлика (правового гвинта): якщо свердлик закручувати у напрямі проходження струму, то напрямом обертання його ручки вказує напрям силових ліній магнітного поля.

Полюси магнітного поля котушки зі струмом визначають за правилом правої руки: якщо праву руку покласти долонею на витки котушки так, щоб чотири пальці показували напрямом струму у витках, то відігнутий великий палець покаже північний полюс котушки.

Котушку із залізним осердям усередині називають електромагнітом.

Немагнітних речовин у природі не існує. Намагніченість речовин пояснюється наявністю електричних струмів, які циркулюють усередині їх молекул. За магнітними властивостями речовини поділяють на феромагнетики, парамагнетики, діамагнетики.

На провідник із боку магнітного поля діє механічна сила, яку називають силою Ампера. Величину сили Ампера обчислюють за формулою: $F_A = B I \Delta l \sin \alpha$.

Напрямок сили Ампера визначають за правилом лівої руки: якщо ліву руку розташувати так, щоб магнітні лінії входили в долоню (долонею до північного полюса постійного магніту), а чотири пальці вказували напрямом струму в провіднику, то великий палець, відігнутий на 90° , вкаже напрямом сили, яка діє на провідник зі струмом із боку магнітного поля (сили Ампера).

В основу конструкції аналогових електровимірювальних приладів покладено явище повертання рамки зі струмом у магнітному полі.

Електродвигун — пристрій, у якому енергія електричного струму перетворюється в механічну. Електродвигуни компактні, не забруднюють навколишнє середовище, їхній ККД становить близько 98 %.

Досліди М. Фарадея демонструють явище електромагнітної індукції, що полягає у виникненні електричного струму в замкнутому провіднику, вміщеному в магнітне поле, яке змінюється.

Електричний струм, який виникає в замкнутому провіднику в разі змін магнітного поля, називають індукційним. Індукційний струм має такий напрямок, що створюване ним магнітне поле протидіє зміні магнітного поля, яка зумовила цей струм.

В основі генерування електричного струму перебуває явище електромагнітної індукції. Пристрій, у якому механічна енергія перетворюється в електричну, називають генератором електричного струму.

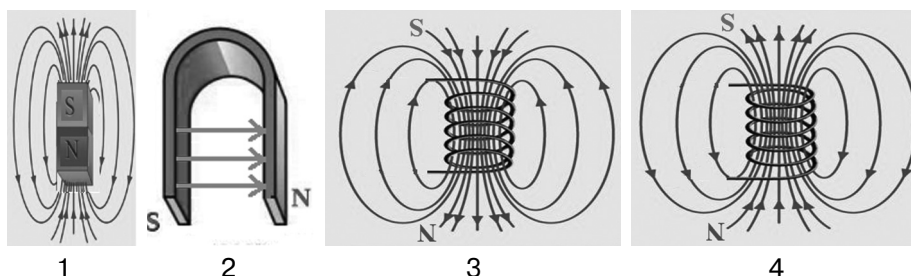
В основу будови генераторів електричного струму різних типів покладено спільний принцип — генерування індукційного струму як результат явища електромагнітної індукції, що, у свою чергу, є виявом існування в природі єдиного електромагнітного поля.

Виявляємо предметну компетентність з розділу «Магнітні явища»

- 1 (п).** Виберіть правильне твердження, що характеризує властивості постійного магніту:
 - А.** Розділяючи магніт навпіл, можна отримати два магніти кожен з одним полюсом.
 - Б.** Однойменні полюси магніту притягуються.
 - В.** Різнойменні полюси магніту відштовхуються.
 - Г.** Навколо магніту існує матеріальне магнітне поле.

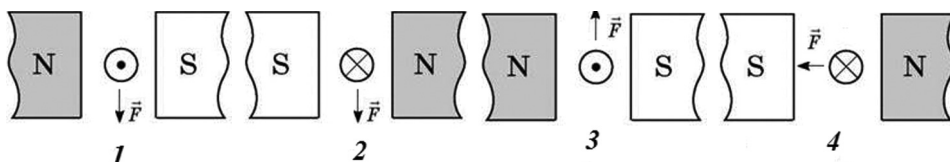
- 2 (п).** Виберіть правильне твердження, що характеризує властивості магнітного поля:
 - А.** Магнітне поле створюється нерухомими електричними зарядами.
 - Б.** Магнітне поле створюється струмами або рухомими зарядами.
 - В.** Магнітне поле існує незалежно від електромагнітного поля.
 - Г.** Магнітне поле не можна виявити експериментально.

- 3 (п).** Яку особливість мають силові лінії магнітного поля?
- А.** Силові лінії магнітного поля, так само як і електричного поля, є розімкнутими.
- Б.** Силові лінії магнітного поля є замкнутими кривими, які виходять із північного полюса та входять у південний, замикаючись усередині магніту.
- В.** Силові лінії магнітного поля починаються та закінчуються на електричних зарядах.
- Г.** Силові лінії магнітного поля починаються на північному полюсі магніту та закінчуються на південному.
- 4 (п).** Визначте, на якому рисунку правильно зображено силові лінії магнітного поля.



А. 1 Б. 2 В. 3 Г. 4

- 5 (с).** На рисунку зображено перерізи провідників, розміщених у зовнішньому магнітному полі. Виберіть варіант, на якому правильно показано напрямки сили, з якою магнітне поле діє на провідник зі струмом (сили Ампера).



А. 1 Б. 2 В. 3 Г. 4

- 6 (с).** Виберіть формулу, за якою обчислюється значення сили Ампера:

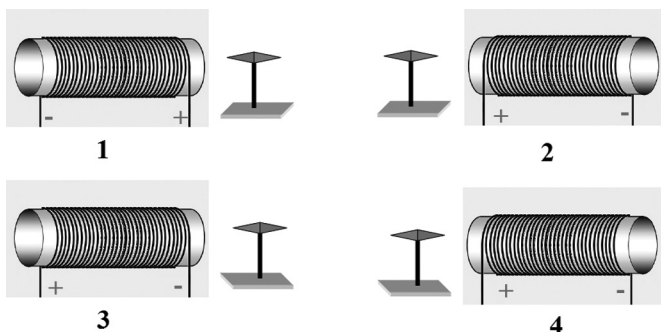
А. $F = \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}$

Б. $F = IB\Delta l \sin \alpha$

В. $F = mg$

Г. $F = qB\vartheta \sin \alpha$

- 7 (с). Виберіть рисунок, на якому правильно показано взаємодію котушки зі струмом та магнітної стрілки.

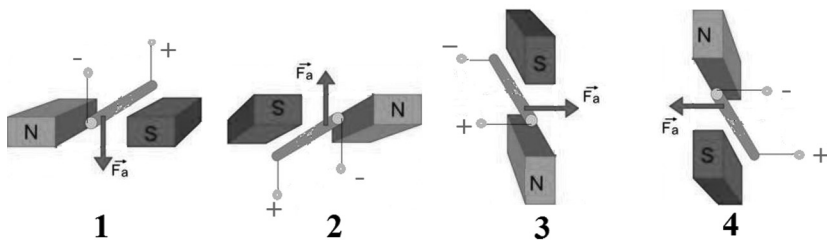


А. 1 Б. 2 В. 3 Г. 4

- 8 (с). Установіть відповідність між електромагнітними явищами та прізвищами фізиків, які їх досліджували:

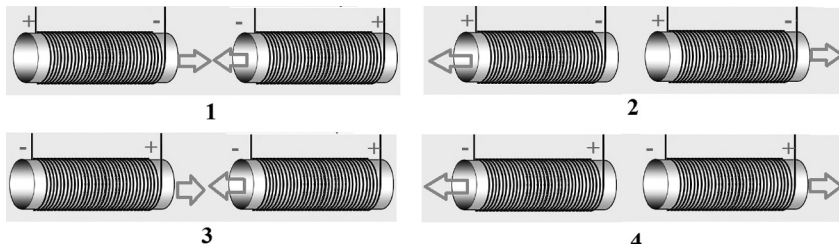
1 Електромагнітна індукція	А. А. Ампер
2 Дія магнітного поля на провідник зі струмом	Б. М. Фарадей
3 Магнітна дія струму	В. Г. Ерстед
4 Залежність напрямку індукційного струму в провіднику від зміни магнітного поля	Г. Ш. Кулон
	Д. Е. Ленц

- 9 (д). На рисунку зображено силуву дію магнітного поля на провідник зі струмом. Укажіть, у якому з провідників правильно позначено напрямок струму.



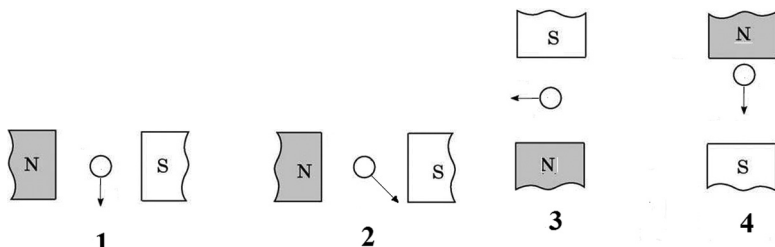
А. 1 Б. 2 В. 3 Г. 4

- 10 (д). Виберіть рисунок, на якому правильно показано взаємодію двох котушок зі струмом.



А. 1 Б. 2 В. 3 Г. 4

- 11 (д).** Провідник завдовжки 10 см виштовхується із силою 0,15 Н з магнітного поля, індукція якого 0,2 Тл. Визначте силу струму в провіднику, якщо кут між напрямками струму та магнітного поля становить 30° .
- 12 (д).** Під яким кутом до напрямку поля буде рухатися провідник довжиною 50 см у магнітному полі з індукцією 0,5 Тл, якщо по провіднику тече електричний струм 20 А, а магнітне поле діє на нього із силою 3,41 Н?
- 13 (д).** На провідник, по якому тече електричний струм 5 А, з боку магнітного поля з індукцією 0,1 Тл діє сила 1 Н. З якою силою магнітне поле діяло би на провідник, якщо його довжину збільшити вдвічі та пропустити електричний струм 8 А. Кут між напрямком струму та поля в обох випадках однаковий.
- 14 (в).** Визначте максимальне та мінімальне значення сили Ампера, яка діє на провідник довжиною 60 см зі струмом 10 А при різних положеннях провідника в однорідному магнітному полі з індукцією 1,5 Тл.
- 15 (в).** Провідники, перерізи яких зображено на рисунку, рухаються в однорідному магнітному полі у напрямках, позначених стрілками. Виберіть провідник, у якому електричний струм не індукується.



- 16 (в).** Виток дроту обертається між полюсами магніту таким чином, що робить 60 обертів за хвилину. Визначте, скільки разів за секунду змінюється напрям струму у витку. Обчисліть частоту цього струму.

Розділ 2

СВІТЛОВІ ЯВИЩА

Із сивої давнини люди замислювалися над природою світла. Давні греки вважали, що очі випускають особливі невидимі флюїди, які ніби щупальцями «обмацують» предмети, надаючи зорове відчуття про них. Водночас незрячі позбавлені можливості випускати такі флюїди, тому не можуть бачити. Евклід стверджував, що очі людини випускають промені, які «поширюються по прямому шляху». Багато століть учені наполегливо шукали відповіді на питання про природу, поширення та сприйняття світла, наявність кольорів тощо.

Що таке світло? Чому людина бачить? Чому існує розмаїття кольорів? На ці та багато інших запитань ви навчитеся давати відповідь, вивчаючи розділ, присвячений світловим явищам. Наука про зорове сприйняття та світлові явища має назву «Оптика», яка походить від грецького слова *optike*.

§ 11. Джерела та приймачі світла

- ▶ *Світлові явища*
- ▶ *Джерела та приймачі світла*
- ▶ *Швидкість поширення світла*

СВІТЛОВІ ЯВИЩА. Спостерігати навколишній світ людина може завдяки фізичним явищам, пов'язаним із виникненням, поширенням, поглинанням, відбиванням світла. Проте це далеко не повний перелік світлових явищ, з якими ви ознайомитеся, вивчаючи оптику (рис. 11.1). Оптика досліджує не тільки природу світла, світлові явища, а й можливості їх використання в техніці, науці, побуті.

Із повсякденного досвіду вам відомо, що світло може нагрівати тіла, на які потрапляє. У курсі фізики 8-го класу ви вже ознайомилися з таким видом передачі енергії, як випромінювання. Світло також є випромінюванням.

Світло — це особливий вид випромінювання, що здатне викликати зорові відчуття.

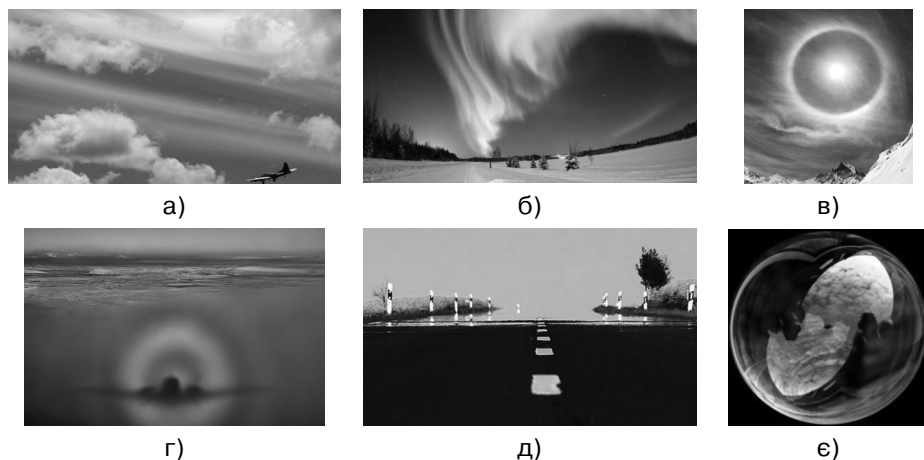


Рис. 11.1. Приклади світлових явищ:

- а) райдужна стіна («вогняна веселка»); б) полярне сяйво;
в) гало; г) ореол Будди; д) міраж;
е) утворення різнокольорового забарвлення мильної бульбашки

Постає запитання, чому джерела світла випромінюють енергію. Щоб відповісти на нього, пригадайте будову атома, оскільки саме в атомах виникають зміни, внаслідок яких речовина випромінює світло. Виявляється, під час руху електронів по визначених орбітах атом і відповідно речовина не випромінює світло. Проте якщо внаслідок нагрівання або перебігу хімічних реакцій електрони наближаються до ядра атома, то атом випромінює часточки енергії (світлові кванти), які пізніше одержали назву *фотони*, *світлові частинки* (рис. 11.2). Такого висновку дійшов у 1913 р. датський фізик Нільс Бор.

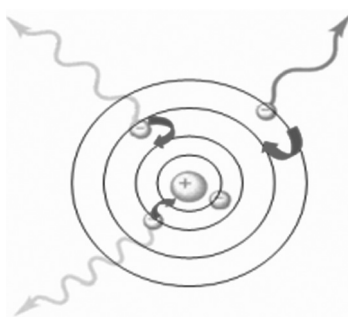


Рис. 11.2. Випромінювання світла атомом

ДЖЕРЕЛА ТА ПРИЙМАЧІ СВІТЛА. Подібно до того, як тіла, що випромінюють теплову енергію, називають джерелами тепла, *тіла, що створюють світлове випромінювання, називають джерелами світла.*

Джерела світла класифікують за кількома різними критеріями. Зокрема, з огляду на походження джерел їх поділяють на природні (Сонце, зорі, полярне сяйво, блискавка, деякі комахи або рослини, що світяться) та штучні (лампи, свічки, екран комп'ютера тощо) (рис. 11.3).



Рис. 11.3. Класифікація джерел світла залежно від їхньої природи

Будь-яка речовина, нагріта до певної, характерної для неї температури, починає світитися — наприклад, нитка розжарення лампи, деревина, що горить, тощо (рис. 11.4). Отже, джерелами світла є нагріті тіла. Їх називають *тепловими джерелами світла*.

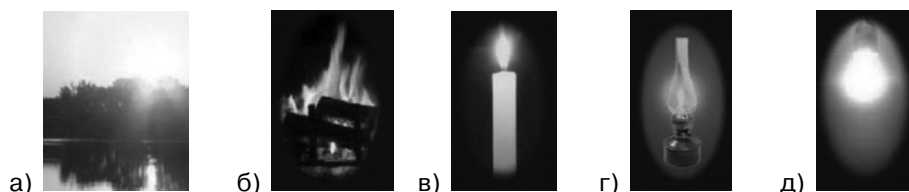


Рис. 11.4. Теплові джерела світла:

а) Сонце; б) багаття; в) свічка; г) газова лампа; д) лампа розжарення

Разом із тим існують тіла, що мають здатність світитися залишаючись холодними. Їх називають *люмінесцентними джерелами світла*. Наприклад, різні комахи світлячки, деякі глибоководні риби, енергозберігаючі лампи тощо (рис. 11.5).

Отже, залежно від природи виникнення світлового випромінювання джерела світла можна поділити на теплові та люмінесцентні.

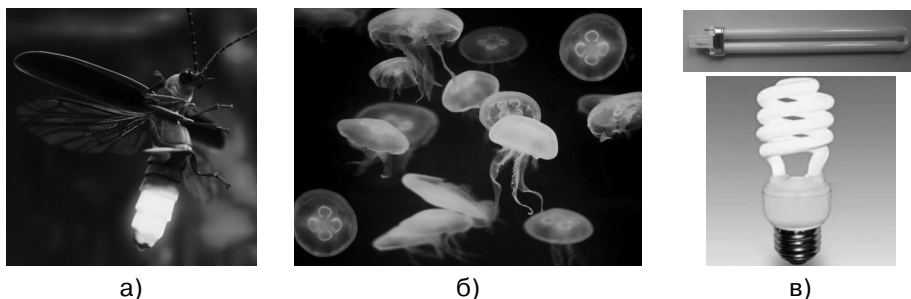


Рис.11.5. Люмінесцентні джерела світла:
а) світлячок; б) медузи; в) люмінесцентні лампи

Джерела світла ми бачимо тому, що утворюване ними випромінювання потрапляє нам в очі. Водночас ми можемо бачити тіла, що не є джерелами світла (Місяць, будинки, дерева, парти і т. ін.). Виявляється, вони лише відбивають світло, яке на них потрапляє від джерел світла, і тому ми можемо їх бачити (рис. 11.6).

Всі джерела світла мають певні розміри. Вивчаючи світлові явища, ми будемо використовувати поняття «точкове» і «неточкове (протяжне)» джерело світла.

Точковим джерелом світла називають світне тіло, розміри якого значно менші порівняно з відстанями, на яких оцінюється його дія.

У іншому випадку джерело світла називають *неточковим*, або *протяжним*.

Поширюючись від джерела, світло падає на різні предмети. Як наслідок, із предметами можуть відбуватися різні зміни: вони можуть нагріватися, змінювати свій розмір, колір тощо. Такі тіла називають приймачами світла.



Рис. 11.6. Місяць не є джерелом світла, оскільки лише відбиває сонячне світло

Приймачі світла — це тіла, на які падає світло і внаслідок цього в них відбуваються певні зміни.

ШВИДКІСТЬ ПОШИРЕННЯ СВІТЛА. Світло, що поширюється від певного джерела, досягає приймача не вмить, а через деякий час. Швидкість поширення світла дуже велика. У вакуумі вона становить 300 000 км/с. Як наслідок, світло проходить дуже великі відстані за надзвичайно короткі проміжки часу. Тому для дослідного визначення швидкості світла потрібні або відстані астрономічних масштабів, або прилади, які б давали змогу вимірювати дуже малі проміжки часу. Це було причиною того, що Г. Галілею свого часу не вдалося виміряти швидкість світла. Однак сама ця спроба видатного вченого свідчить про те, що Г. Галілей мав правильні уявлення про скінченність швидкості поширення світла.

Швидкість світла вперше виміряв датський астроном Оле Ремер у 1676 р. Предметом спостережень науковця став найближчий супутник Юпітера — Іо. Учений спостерігав, як супутник проходив перед планетою, а потім зникав із поля зору, після чого знову з'являвся ніби лампа, що миттєво спалахує.

Оскільки земний спостерігач обертається разом із Землею навколо Сонця, чи то віддаляючись, чи то наближаючись до Юпітера (рис. 11.7), світлу потрібен різний час, щоб досягти спостерігача. Найбільше запізнення в появі супутника становило 996 с. Це додатковий час, необхідний світлу, аби подолати відстань, що дорівнює діаметру земної орбіти.

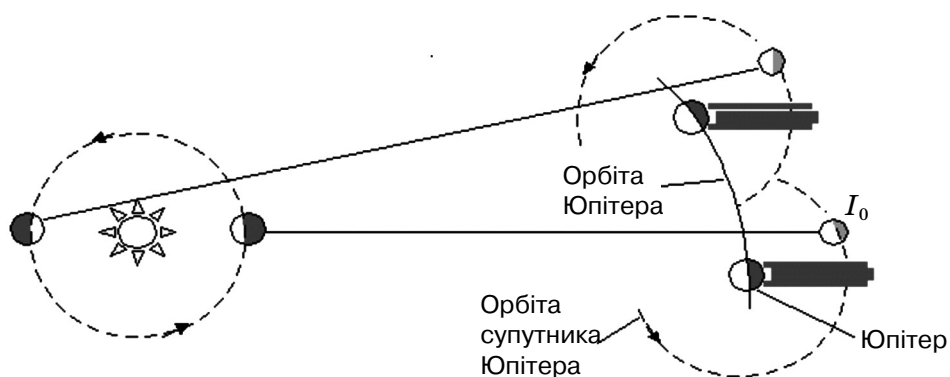


Рис. 11.7. Дослід О. Ремера

Утім, унаслідок недостатньої точності вимірювань О. Ремер визначив швидкість світла у 215 000 км/с. Проте його відкриття підтвердило вчення Коперника про рух Землі. Крім того, він першим довів, що швидкість світла, хоча й велика, але все-таки скінченна. Точніші вимірювання швидкості світла були проведені І. Фізо, А. Майкельсоном та ін., і з ними ви ознайомитеся пізніше.

! Головне в цьому параграфі

Світло — особливий вид випромінювання, що здатне викликати зорові відчуття.

Джерела світла — тіла, що створюють світлове випромінювання.

За різними критеріями джерела світла поділяють на:

- природні та штучні;
- теплові й люмінесцентні (холодні);
- точкові та протяжні (неточкові).

Приймачі світла — це тіла, на які падає світло і внаслідок цього в них відбуваються певні зміни.

Швидкість поширення світла у вакуумі становить 300 000 км/с.

? Запитання для самоперевірки

1. Що називають світлом?
2. Чому речовина випромінює світло?
3. Що називають джерелами світла, приймачами світла?
4. Яка швидкість світла у вакуумі?
5. Чому Г. Галілею не вдалося визначити швидкість світла?
6. Чи можна поставити дослід із визначення швидкості світла в одному напрямку? Які в цьому випадку виникають принципові труднощі?
7. На чому базувалися міркування О. Ремера в його досліді з вимірювання швидкості світла?

Готуємося до виконання навчального проекту

Використовуючи науково-популярні джерела та інформаційно-пошукові системи, підготуйте інформацію на тему: «Світлові явища в природі».

Вправа до § 11

- 1 (п). Дайте характеристику джерел світла, зображених на рисунку, відповідно до критеріїв їх класифікації, розглянутих у параграфі.



- 2 (с). Обчисліть, за який час світло від Сонця досягає Землі. Врахуйте, що середня відстань від Землі до Сонця, яку ще називають астрономічною одиницею (скорочено — **а. о.**), приблизно дорівнює 149,6 млн км.
- 3 (д). Від найближчої зорі (Альфа Центавра) світло доходить до Землі за 4,3 року. Яка відстань до зорі? Оцініть відстані (у км), які світло проходить за 1 хв, 1 год, 1 рік, приймаючи в розрахунках, що швидкість світла — 300 000 км/с.

§ 12. Закон прямолінійного поширення світла

- ▶ Світловий промінь і світловий пучок
- ▶ Закон прямолінійного поширення світла
- ▶ Сонячне та місячне затемнення

СВІТЛОВИЙ ПРОМІНЬ І СВІТЛОВИЙ ПУЧОК. Вам, напевно, доводилося спостерігати, як світло від Сонця, проходячи крізь хмари, поширюється вздовж прямих ліній — променів (рис. 12.1).

Світловий промінь — це лінія, вздовж якої поширюється енергія від джерела світла.



Рис. 12.1. Приклади поширення світла та утворення світлових пучків

Прикладами світлових променів є промені від лазерної указки та прожектора в нічному небі тощо. Сукупність світлових променів утворює напрямлені потоки світла, які називають *світловими пучками*. Якщо зі світної точки S промені розходяться в усіх напрямках як із спільного центра (рис. 12.2, а), такий пучок променів називають розбіжним. Якщо промені світлового пучка перетинаються в одній точці S' (рис. 12.2, б), його називають збіжним. Найпростішим є пучок паралельних променів світла (рис. 12.2, в), тому що всі промені пучка мають однакові властивості і достатньо дослідити лише один із них та вивчити закономірності його поширення.

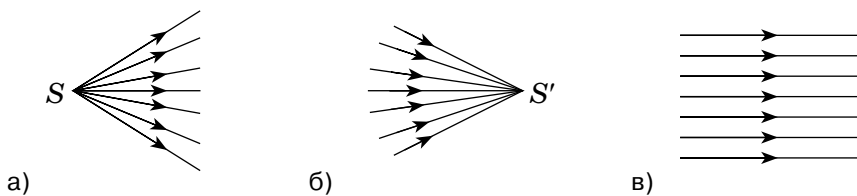


Рис. 12.2. Види світлових пучків:
а) розбіжний; б) збіжний; в) паралельний

А чи замислювалися ви над запитанням «Чому ми можемо бачити світлові пучки?». Виявляється, вони можуть бути видимим

внаслідок відбивання світла від маленьких частинок у неоднорідному середовищі. Світловий пучок паралельних променів стає видимим, якщо у воді з'являються частинки речовини, здатні відбивати світло (рис. 12.3).

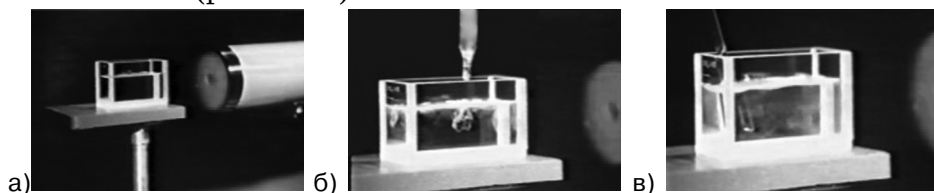


Рис. 12.3. Порівняйте світловий пучок, що проходить крізь чисту воду та розчин спирту у воді:
а) чиста прозора вода; б) у воду додають краплі спирту;
в) розчин спирту у воді

ЗАКОН ПРЯМОЛІНІЙНОГО ПОШИРЕННЯ СВІТЛА. Аналізуючи поширення світлових пучків у просторі, можна переконатися в справедливості закону прямолінійного поширення світла:

Світло в прозорому однорідному середовищі поширюється прямолінійно.

Ознайомимося детальніше з проявами цього закону. Прямолінійність поширення світла — це факт, який був установлений у сиву давнину. Про нього згадував ще за 300 років до н. е. засновник геометрії Евклід. Явищем прямолінійного поширення світла можна пояснити утворення тіні та напівтіні.

Тінь — ділянка простору, куди не потрапляє світло від джерела світла.

Розгляньте уважно рис. 12.4. Зверніть увагу на те, що границя тіні BC лежить на прямих SA та SD , що з'єднують точкове джерело світла та крайні точки предмета AD , який відкидає тінь на екран.

На рис. 12.5 зображено схему утворення на екрані ділянок тіні (чорна ділянка на екрані) та напівтіні (сіра ділянка на екрані) світлом, що поширюється від не точкового (протяжного) джерела світла.

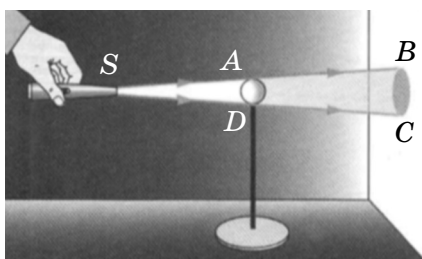


Рис. 12.4. Утворення тіні світлом від точкового джерела

Напівтінь — це ділянка простору, куди потрапляє світло від частини джерела світла.

Зверніть увагу на те, що будуючи тінь та напівтінь від неточкового джерела світла, достатньо взяти дві крайні точки на протяжному джерелі та, вважаючи їх точковими джерелами світла, виконати побудову.

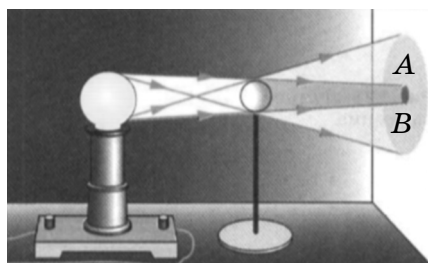


Рис. 12.5. Утворення тіні та напівтіні світлом від неточкового джерела

СОНЯЧНЕ ТА МІСЯЧНЕ ЗАТЕМНЕННЯ. Проявом явища прямолінійного поширення світла є сонячні (рис. 12.6) та місячні (рис. 12.7) затемнення. Під час сонячного затемнення тінь від Місяця падає на Землю. У ділянці повної тіні на поверхні Землі спостерігатиметься повне затемнення Сонця, у ділянці напівтіні — часткове сонячне затемнення.



а)



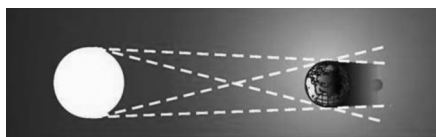
б)

Рис. 12.6. Сонячне затемнення:

а) схематичне зображення;

б) фази

Місячне затемнення спостерігається коли Місяць потрапляє в ділянку тіні, що створюється Землею. Придивившись, можна помітити, що Місяць при цьому не зникає зовсім, а стає диском темно-червоного кольору. Спричинено це тим, що, проходячи крізь атмосферу Землі, сонячні промені трохи викривляються, унаслідок чого невелика їхня частина все-таки потрапляє на поверхню Місяця.



а)



б)

Рис.12.7. Місячне затемнення:

а) схематичне зображення; б) часткове та повне

! Головне в цьому параграфі

Світловий промінь — лінія, вздовж якої поширюється енергія від джерела світла.

Світло в прозорому однорідному середовищі поширюється прямолінійно.

Тінь — ділянка простору, куди не потрапляє світло від джерела світла.

Напівтінь — ділянка простору, куди потрапляє світло від частини джерела світла.

? Запитання для самоперевірки

1. Що називають світловим променем?
2. Поясніть, чому ми бачимо Сонце, Місяць, зорі, траву.
3. Наведіть приклад явища, яке підтверджує прямолінійність поширення світла.
4. Користуючись рис. 12.4, поясніть, як визначити ділянку тіні на екрані. Поміркуйте, за якої умови на екрані будуть тільки тінь і освітлена ділянка?
5. Користуючись рис. 12.5, поясніть, як визначити ділянку тіні, напівтіні та освітлену ділянку екрану. Поміркуйте за якої умови на екрані утворюється ділянка напівтіні?

Вправа до § 12

- 1 (с). Зобразіть на рисунку сонячне затемнення. Поміркуйте, чому ми не спостерігаємо його кожної доби?
- 2 (с). Що може бачити людина, яка перебуває в ділянці напівтіні та в ділянці тіні, спостерігаючи сонячне затемнення?
- 3 (д). Зобразіть на рисунку місячне затемнення. Чи можна його спостерігати кожної доби? Чому?
- 4 (д). Назвіть планети Сонячної системи, на яких можна спостерігати сонячне затемнення.
- 5(в). На рисунку зображено схему досліду з одержання тіні та напівтіні від двох точкових джерел світла S_1 та S_2 . Точкове джерело S_1 — має червоний колір, S_2 — зелений. Визначте колір кожної з ділянок, зображених на рис. 12.8.

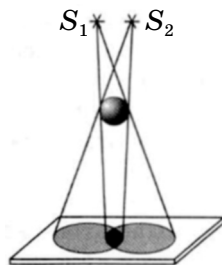


Рис. 12.8. До завдання 5

- 6(в). Лампи А і В розміщено в коридорі перед відчиненими дверима до кімнати. Покажіть ділянки тіні та напівтіні в кімнаті, коли ці лампи ввімкнуть увечері (рис. 12.9).



Рис. 12.9. До завдання 6

Домашній експеримент

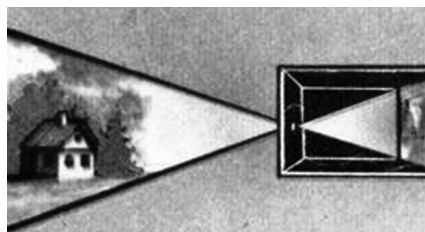
Спробуйте в домашніх умовах дослідити умови утворення тіні та напівтіні.

Дайте відповіді на запитання:

1. Якими способами можна одержати чітку тінь від тіла на екрані?
2. Чому з наближенням тіла до екрана його тінь стає чіткішою?
3. За яких умов тінь на екрані стає більш розмитою?

Готуємося до виконання навчального проекту

Чорний ящик із малим отвором називається камерою-обскурою (камера-обскура — від латинського «*темна кімната*»). Розмір отвору становить приблизно від 0,2 до 0,6 мм. На задній внутрішній стінці камери можна отримати чітке зображення гарно освітленого об'єкта (лампи, свічки, будинку тощо).



Використовуючи інформаційні джерела, виготовте камеру-обскуру, ознайомтеся з історією її створення та запропонуйте сфери застосування.

§ 13. Відбивання світла

- ▶ *Відбивання світла*
- ▶ *Закони відбивання світла*
- ▶ *Оборотність світлового променя*
- ▶ *Дзеркальне та дифузне відбивання світла*

ВІДБИВАННЯ СВІТЛА. Починаючи вивчення питання відбивання світла, поміркуємо над тим, чи можемо ми бачити одне одного темної ночі або в темному приміщенні, коли до нього не потрапляє світло? А якщо увімкнути ліхтарик? Відповідь очевидна. Але чому так відбувається? Саме завдяки відбиванню світла ми можемо бачити різні предмети, розрізняти їх колір, милуватися краєвидами природи тощо. Вчення про явища поширення та відбивання й заломлення світла — феноменологічна, тобто описова, наука. Витоки цього вчення беруть початок у глибокій давнині. Вважається, що закони прямолінійного поширення світла в однорідному прозорому середовищі та дзеркального відбивання сформулював ще Евклід. Французький математик та філософ Рене

Декарт експериментально й теоретично вивчав закони поведінки світлових променів на границі розподілу двох середовищ. До середини XVII ст. було сформульовано всі основні закони поширення та відбивання світла для однорідних середовищ, а в 1660 р. французький вчений П'єр Ферма сформулював принцип найменшого оптичного шляху, який є загальним законом поширення світла.

ЗАКОНИ ВІДБИВАННЯ СВІТЛА. Розглянемо детальніше закони, за якими відбувається явище відбивання світла. Виконаємо дослід. На оптичному диску (рис. 13.1), що являє собою коло з поділками, закріплено дзеркало. Спрямуємо вузький пучок світла, світловий промінь AO на дзеркало. Досягнувши поверхні дзеркала, він майже повністю відбивається, утворюючи відбитий промінь OB .

З точки O , яка є точкою падіння, а також точкою відбивання променів AO та OB , проведемо перпендикуляр до поверхні дзеркала (пряма OC). Позначимо на рисунку кут падіння α та кут відбивання γ променів.

Кутом падіння α називають кут між падаючим променем та перпендикуляром, проведеним із точки падіння.

Кутом відбивання γ називають кут між відбитим променем та перпендикуляром, проведеним із точки падіння.

Порівнюємо між собою кути падіння та відбивання. З рис. 13.1. бачимо, що вони є рівними між собою, тобто $\alpha = \gamma$. Виявляється, що рівними між собою вони залишаються, навіть якщо змінити кут падіння (рис. 13.2, а).

Той факт, що на оптичному диску ми можемо бачити як кут падіння, так і кут відбивання, свідчить про те, що падаючий та відбитий промені лежать в одній площині — площині оптичного диска.

Проведений аналіз досліду дає змогу сформулювати закони відбивання світла:

1. *Падаючий промінь, відбитий промінь та перпендикуляр, проведений у точці падіння до поверхні відбивання, лежать в одній площині.*

2. *Кут падіння дорівнює куту відбивання.*

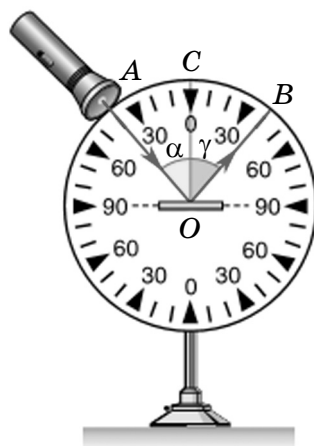


Рис. 13.1. Відбивання світлового променя від поверхні дзеркала, закріпленого на оптичному диску

ОБОРОТНІСТЬ СВІТЛОВОГО ПРОМЕНЯ. Розгляньте уважно рис. 13.2. Зверніть увагу на те, що точки випромінювання світла та його виходу з оптичного диска поміняли місцями. Отже, тепер по напрямку відбитого променя (рис. 13.2, б) пустили промінь світла від джерела. Падаючий промінь відбивається від дзеркала і йде по тому напрямку, по якому в попередньому досліді йшов падаючий промінь. Тобто промені ніби помінялися місцями.

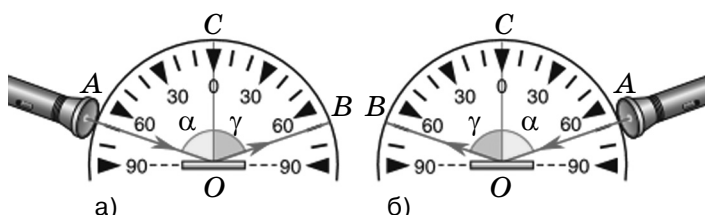


Рис. 13.2. Оборотність світлового променя

Цю властивість падаючого і відбитого променів називають *оборотністю* світлових променів.

ДЗЕРКАЛЬНЕ ТА ДИФУЗНЕ ВІДБИВАННЯ. Спостерігаючи явище відбивання світла, поміркуйте, чи всі поверхні однаково відбивають світло? Розгляньте рис. 13.3, на якому зображено відбивання світла від дзеркальної та шорсткої поверхні. Оскільки ми можемо бачити світло, коли воно потрапляє нам в очі, світло, відбите від дзеркальної поверхні, ми можемо бачити лише в положенні 2 (рис. 13.3, а). У положеннях 1 та 3 відбитий промінь ми не побачимо. Разом із тим, якщо поверхня є шорсткою, то промені світла, спрямовані на неї, відбиваються в усіх напрямках (рис. 13.3, б). Таке відбивання називають *дифузним*, або *розсіяним*. Шорсткими поверхнями, які відбивають світло в усіх напрямках, є підручник, стіни та підлога кімнати, врешті-решт, усі предмети, які ми бачимо, хоча вони не є джерелами світла.

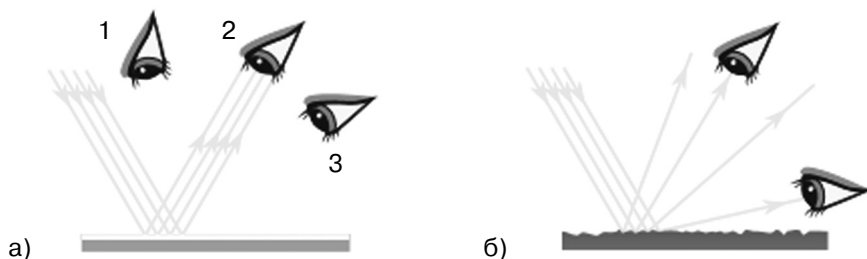


Рис. 13.3. Дзеркальне та дифузне відбивання світла від поверхонь:
а) дзеркальне відбивання; б) дифузне відбивання

Отже, поверхні, які відбивають світло дзеркально, є блискучими, а ті, що відбивають світло дифузно — матовими. Причому, чим більше світла відбиває поверхня, тим світлішою ми її бачи-

мо. Відповідно до цього, якщо поверхня не відбиває світло, ми її бачимо чорною.

Приклад. Сонячні промені утворюють з горизонтом кут 40° . Під яким кутом до горизонту необхідно розташувати дзеркало, щоб відбитий від нього промінь спрямувати вертикально догори?

Дано:

Розв'язок

$\varphi = 40^\circ$ Побудуємо спочатку горизонт та падаючий промінь σ — ? AO під кутом $\varphi = 40^\circ$ до горизонту.

Зобразимо відбитий промінь OB , що за умовою задачі спрямований вертикально вгору (рис. 13.4, а).

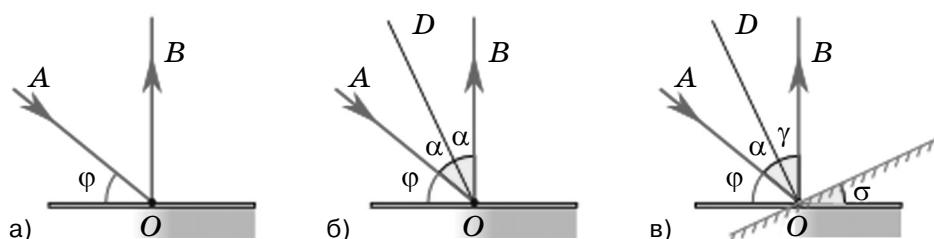


Рис. 13.4

Визначаємо кут падіння: $\alpha = 90^\circ - \varphi = 90^\circ - 40^\circ = 50^\circ$.

Проводимо бісектрису OD кута AOB , яка власне є перпендикуляром до поверхні відбивання (рис. 13.4, б). Потім перпендикулярно їй через точку падіння променя проводимо поверхню дзеркала. Побудови виконані. Тепер залишилося визначити кут σ .

Оскільки, відповідно до законів відбивання, кути падіння та відбивання є рівними, отже $\alpha = \gamma = \frac{\angle AOB}{2} = 25^\circ$. Розглянувши рисунок, встановлюємо, що $\alpha = \gamma = \sigma = 25^\circ$.

Відповідь: кут нахилу дзеркала до горизонту $\sigma = 25^\circ$.

! Головне в цьому параграфі

Кутом падіння α називають кут між падаючим променем та перпендикуляром, проведеним із точки падіння.

Кутом відбивання γ називають кут між відбитим променем та перпендикуляром, проведеним із точки падіння.

Закони відбивання світла:

1. Падаючий промінь, відбитий промінь та перпендикуляр, проведений у точку падіння до поверхні відбивання, лежать в одній площині.

2. Кут падіння дорівнює куту відбивання.

Світловий промінь є оборотним.

Дзеркальне відбивання — відбивання світлових променів поверхнею в певному напрямі (створюється дзеркальною, блискучою поверхнею).

Дифузне відбивання — відбивання променів світла, спрямованих на поверхню в усіх напрямках (створюється шорсткою, матовою поверхнею).

? Запитання для самоперевірки

1. Що називають кутом падіння, кутом відбивання? Якими літерами їх позначають?
2. Як зміниться кут відбивання, якщо кут падіння збільшити на 10° ?
3. У чому полягає оборотність світлових променів?
4. Поясніть, чому шорстку поверхню можна бачити з будь-якого її положення, а дзеркальну тільки з певного.
5. Яка поверхня: біла чи чорна відбиває більше світла?

**Вчимося розв'язувати задачі
на закони відбивання світла**

Починаючи розв'язувати задачі на закони відбивання світла, необхідно чітко розуміти, що таке кут падіння та кут відбивання світла та який зв'язок між ними існує. Важливою умовою успішного розв'язку є правильно та чітко виконаний рисунок, який допоможе знайти відповідь на запитання, сформульоване в задачі.

Пропонуємо вам декілька порад щодо виконання рисунку. Для того щоб побудувати відбитий (падаючий) промінь при заданому напрямі падаючого (відбитого) необхідно:

- 1) з точки поверхні провести перпендикуляр до поверхні відбивання;
- 2) виміряти за допомогою транспортира заданий кут;
- 3) побудувати кут, що дорівнює заданому, по інший бік перпендикуляру.

Не забувайте, що оскільки кут падіння дорівнює куту відбивання, то з цього випливає, що перпендикуляр до поверхні відбивання ділить кут між падаючим та відбитим променями навпіл, а отже, є його бісектрисою.

Вправа до § 13

- 1 (п). Визначте кути відбивання, якщо світловий промінь падає: а) перпендикулярно до поверхні дзеркала; б) під кутом 30° ?
- 2 (с). Перекресліть у зошит рисунок до задачі. З'ясуйте, який промінь зображено в кожному випадку. Побудуйте падаючий або відбитий промені.

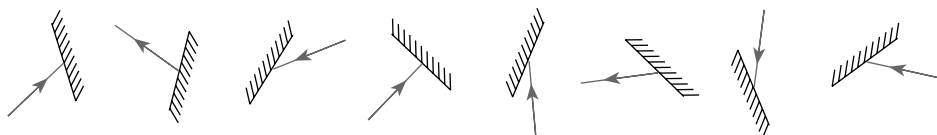


Рис. 13.5. До завдання 2

- 3 (с). Поясніть, якою є поверхня місяця: дзеркальною чи матовою?
- 4 (д). Кут між падаючим та відбитим променями становить 70° . Визначте кут відбивання променя.

- 5 (д).** Кут падіння променя дорівнює 30° . Визначте кут між відбитим променем та поверхнею дзеркала.
- 6 (д).** Кут між падаючим та відбитим променями в три рази більший, ніж кут між падаючим променем та поверхнею дзеркала. Обчисліть кут падіння променя.
- 7 (в).** Як зміниться кут між падаючим і відбитим променями, якщо дзеркало повернути за годинниковою стрілкою на 20° , а положення падаючого променя при цьому не зміниться?
- 8 (в).** Сонячні промені падають під кутом 40° до горизонту. Під яким кутом до горизонту необхідно розташувати дзеркало, щоб відбитий промінь спрямувати: а) вертикально донизу; б) горизонтально?

§ 14. Плоске дзеркало

- *Характеристика зображення у плоскому дзеркалі*
- *Побудова зображення у плоскому дзеркалі*
- *Сферичні дзеркала*

ХАРАКТЕРИСТИКА ЗОБРАЖЕННЯ У ПЛОСКОМУ ДЗЕРКАЛІ. Мабуть, кожного дня, збираючись до школи, ви дивитись на своє зображення в дзеркалі. Спробуємо з'ясувати, чому воно утворюється та які його властивості. Адже не всі поверхні, що відбивають світло, навіть якщо вони плоскі, можуть утворювати зображення предмета. Насамперед з'ясуємо, що ж у фізиці називають плоским дзеркалом.

Плоским дзеркалом називають плоску поверхню, здатну відбивати світло.

Виконаємо дослід. Розташуємо на столі скляну пластинку та запалену свічку 1 (рис. 14.1). Гладка скляна пластинка відіграватиме роль прозорого дзеркала, в якому ми бачимо зображення свічки 2. Проте, зазирнувши за прозоре дзеркало, ми свічки там не побачимо. Отже, це зображення буде уявним, оскільки існує лише в нашій уяві. Якщо за дзеркалом ми розмістимо екран чи будь-який інший світлочутливий пристрій, то зображення предмета на ньому зафіксовано не буде.

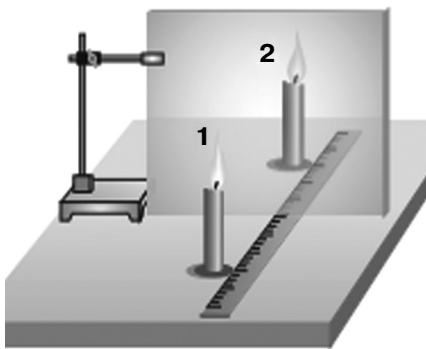


Рис. 14.1. Одержання уявного зображення в плоскому дзеркалі

Візьмемо іншу таку саму свічку і будемо переміщувати її за дзеркалом, намагаючись сумістити положення цієї свічки з зображенням першої свічки. Коли положення свічки 2 збігатиметься із зображенням свічки 1, виникне враження, що свічка за дзеркалом також запалена. Вимірявши за допомогою лінійки відстані від свічок до дзеркала, переконаємося, що вони будуть однаковими.

Отже предмет та його зображення розташовані на однакових відстанях від площини дзеркала.

Зверніть увагу, що зображення свічки 1 повністю відповідає самій свічці та розташоване так само прямо, а не під кутом чи обернено відносно предмета.

Тобто зображення предмета в плоскому дзеркалі є прямим і за розміром відповідає самому предмету.

Рухаючи свічку 1 перед площиною прозорого плоского дзеркала, можна переконатися в тому, що на скільки зміниться відстань від предмета до плоского дзеркала, **на стільки ж зміниться і відстань від його зображення до цього дзеркала.** Результати будуть аналогічні, якщо замість прозорого взяти непрозоре плоске дзеркало.

ПОБУДОВА ЗОБРАЖЕННЯ У ПЛОСКОМУ ДЗЕРКАЛІ. Тепер спробуємо побудувати зображення предмета в плоскому дзеркалі та з'ясувати, чому воно має такі характеристики. Для цього скористаємося знаннями з геометрії про те, що положення певної точки на площині можна одержати перетином принаймні двох прямих. Щоб побудувати відрізок на площині, достатньо побудувати дві його крайні точки, а потім з'єднати їх прямою лінією.

Побудуємо положення двох крайніх точок A і B полум'я свічки (рис. 14.2). Для цього з величезної кількості світлових променів виберемо лише два. Наприклад промінь 1 — той, що падає перпендикулярно до площини дзеркала, інший довільний,

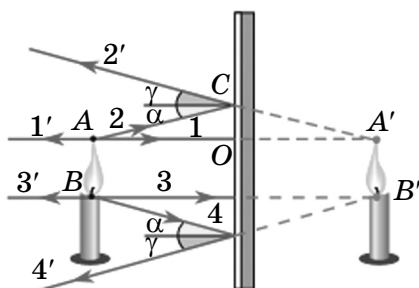


Рис. 14.2. Побудова уявного зображення в плоскому дзеркалі

промінь 2, що падає на дзеркало під деяким кутом α . Скориставшись законами відбивання, побудуємо відбиті промені 1' та 2'.

Зверніть увагу, що відбиті промені 1' та 2' не перетинаються, проте перетинаються їх продовження, позначені на рисунку пунктирною лінією. У точці перетину цих продовжень ми одер-

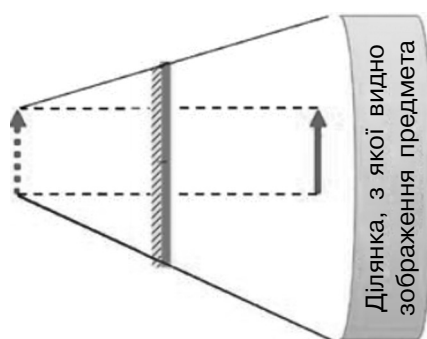
жуємо зображення тієї точки, з якої проводили промені 1 і 2, тобто зображення точки А. Позначимо зображення точки А як А'. Воно є уявним.

Запам'ятайте, якщо зображення певної точки одержано перетином не самих променів, а їхніх продовжень, це зображення на екрані не виникає, воно існує лише в нашій уяві, отже, є уявним.

За ознаками рівності трикутників можна довести, що трикутники ASO та $A'SO$ рівні. Відповідно, точка предмета та її зображення розташовані на однакових відстанях від площини дзеркала та є симетричними. Аналогічно можна побудувати зображення будь-якої точки предмета AB .

Таким чином, експериментально встановлено, що:

зображення предмета в плоскому дзеркалі є уявним, прямим, таким, що дорівнює за розмірами предмету, розташованому від дзеркала на тій самій відстані, що й предмет, тобто симетричним предмету відносно площини дзеркала.



Щоб визначити ділянку простору перед плоским дзеркалом, з якої можна спостерігати зображення предмета, необхідно з'єднати крайні точки зображення з крайніми точками дзеркала (рис. 14.3).

Рис. 14.3. Визначення ділянки простору, з якої можна спостерігати зображення предмета у плоскому дзеркалі

***СФЕРИЧНІ ДЗЕРКАЛА.** Окрім розглянутих нами плоских дзеркал, важливу роль в житті людини відіграють сферичні дзеркала, тобто ті, що мають увігнуту (рис. 14.4, а) або опуклу (рис. 14.4, б) поверхню.

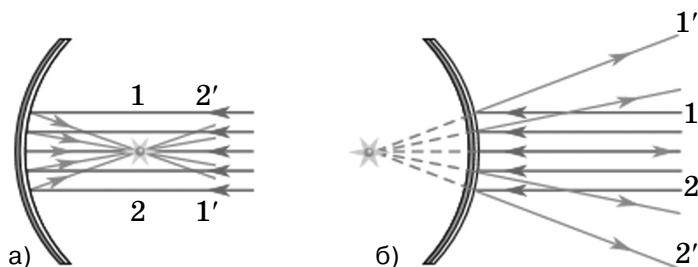


Рис. 14.4. Сферичні дзеркала: а) увігнуте дзеркало; б) опукле дзеркало

Зверніть увагу на те, що увігнуте дзеркало дає можливість перетворити пучок паралельних світлових променів у збіжний, а опукле, навпаки, у розбіжний. Опуклі дзеркала, на відміну від плоских, можуть давати як збільшені, так і зменшені зображення предмета.

Такі особливості сферичних дзеркал зумовлюють широку сферу їх використання (рис. 14.5) у медицині, техніці, науці, побуті, сфері відпочинку. Пригадайте хоча б так звані криві дзеркала.

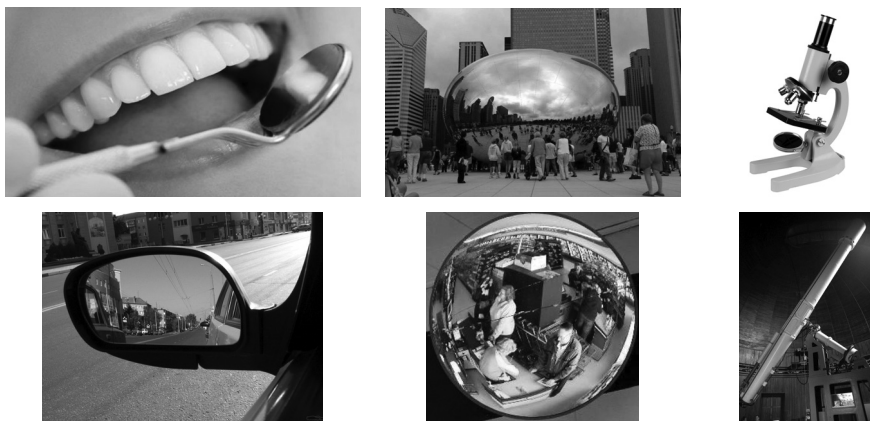


Рис. 14.5. Використання сферичних дзеркал

! Головне в цьому параграфі

Плоским дзеркалом називають плоску поверхню, здатну відбивати світло.

Зображення певної точки, одержане перетином не самих променів, а їх продовжень, є уявним і не може бути одержане на екрані.

Зображення предмета в плоскому дзеркалі є уявним, прямим, таким, що дорівнює за розмірами предмету, розташованому від дзеркала на тій самій відстані, що і предмет, тобто симетричним предмету відносно площини дзеркала.

? Запитання для самоперевірки

1. Що називають плоским дзеркалом?
2. Чому зображення предмета в плоскому дзеркалі є уявним?
3. Який факт доводить, що зображення предмета в плоскому дзеркалі дорівнює за розмірами предмету та є прямим?
4. Поясніть, як побудувати зображення предмета в плоскому дзеркалі.

Вправа до § 14

- 1 (с). Над поверхнею басейну розташована лампочка. Побудуйте зображення лампочки у воді. Лампочку вважайте точковим джерелом, а поверхню плоскою і дзеркальною.

2 (д). В око людини потрапляють два промені, відбитих від дзеркала, освітленого лампочкою. Виконайте необхідні побудови та визначте положення лампочки, вважаючи її точковим джерелом світла.

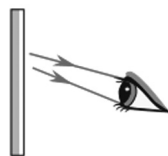


Рис. 14.6. До завдання 2

3 (д). Перед плоским дзеркалом розміщено предмет, зображений на рис. 14.7 вертикальною стрілкою. Побудуйте зображення предмета у плоскому дзеркалі та позначте ділянку простору, з якої можна бачити зображення предмета.

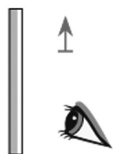
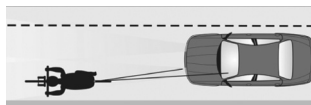


Рис. 14.7. До завдання 3

4 (д). На задньому колесі велосипеда розміщують відбивач світла, так званий кутниковий відбивач — пристрій у вигляді прямокутного тетраедра (многогранника з чотирма вершинами) із взаємно перпендикулярними відбиваючими площинами. Виконайте побудови та покажіть, що після відбивання системою двох взаємно перпендикулярних дзеркал промінь, відбивається строго в оберненому напрямку.



5 (в). Визначте мінімальну висоту плоского дзеркала, яке висить на вертикальній стіні, щоб людина заввишки 180 см могла бачити себе у повний зріст.

6 (в). По горизонтальному столу котиться кулька. Встановіть, під яким кутом до горизонту необхідно розташувати плоске дзеркало, щоб зображення кульки рухалося: а) вертикально догори; б) вертикально донизу.

7 (в). У системі двох дзеркал людина бачить два промені 1 та 2, що відбилися від одного з дзеркал. Побудовою визначте положення предмета. З'ясуйте кількість зображень, що дає така система, якщо дзеркала є перпендикулярними. Вкажіть положення цих зображень.

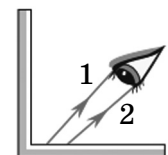


Рис. 14.8. До завдання 7

Готуємося до виконання навчального проекту

Завдання 1. Для спостереження за місцевістю з укриття використовують прилад, який називають перископ (від грец. *перископо* — дивлюся навкруги, оглядаю). Виготовте перископ і проведіть спостереження за його допомогою.

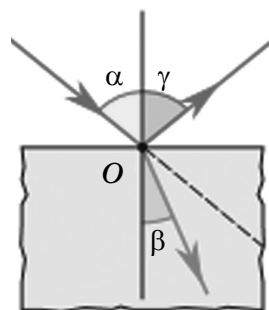
Завдання 2. У мережі Інтернет та інших інформаційних джерелах наводиться багато способів виготовлення калейдоскопа своїми руками. Ознайомтеся з будовою та принципом дії калейдоскопа й спробуйте його виготовити.

§ 15. Заломлення світла на межі поділу двох середовищ

- *Явище заломлення світла*
- *Закони заломлення світла*

ЯВИЩЕ ЗАЛОМЛЕННЯ СВІТЛА. Досягнувши границі розподілу двох середовищ, світло не тільки частково відбивається від неї, а й частково переходить в інше середовище, змінюючи напрям попереднього поширення, — заломлюється (рис. 15.1).

Рис. 15.1. Світло частково відбивається, а частково заломлюється на межі розподілу двох прозорих середовищ



Заломленням світла називають зміну напрямку поширення світла під час переходу його через границю розподілу двох прозорих середовищ.

Внаслідок явища заломлення світла можна спостерігати уявну зміну розмірів, форми, положення предметів (рис. 15.2).



Рис. 15.2. Уявна зміна розмірів, форми, положення предметів унаслідок заломлення світла

Виконаємо простий дослід. Покладемо на дно порожньої чашки монету. Розташуємо чашку так, щоб центр монети й край чашки та око перебували на одній прямій. Не змінюючи положення голови, почнемо наливати воду в чашку. У результаті побачимо, що в міру підвищення рівня води дно чашки з монетою ніби піднімається. Монету, яку було видно до цього лише частково, тепер можна бачити повністю (рис. 15.3).

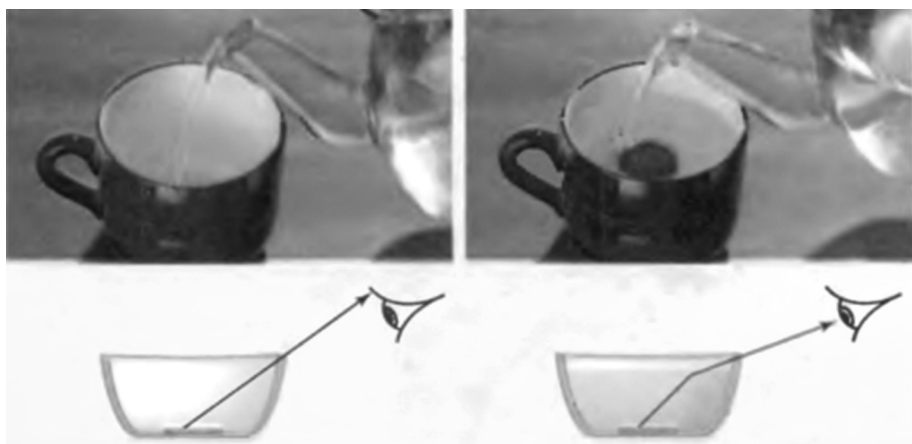


Рис. 15.3. Монету на дні чашки, яку було видно частково, можна бачити повністю після заповнення чашки водою

ЗАКОНИ ЗАЛОМЛЕННЯ СВІТЛА. З'ясуємо, чому змінюється напрям поширення світла при переході його з одного середовища в інше і від чого це залежить. Виявляється, що швидкість світла залежить від середовища, в якому воно поширюється. Наприклад, швидкість поширення світла у вакуумі становить 300 000 км/с, тоді як у склі — 200 000 км/с.

Середовище, в якому швидкість поширення світла менша, є оптично густішим.

Отже, оптична густина середовища спричинює різну швидкість поширення світла в ньому. Під час переходу світла через границю розподілу середовищ змінюються його швидкість і відповідно напрям поширення.

Розглянемо детальніше заломлення світла на межі розподілу двох середовищ. На рис. 15.4 показано падаючий промінь, початковий напрямок його поширення, заломлений промінь, перпендикуляр, проведений з точки падіння на межу розподілу середовищ, кут падіння α та кут заломлення γ .

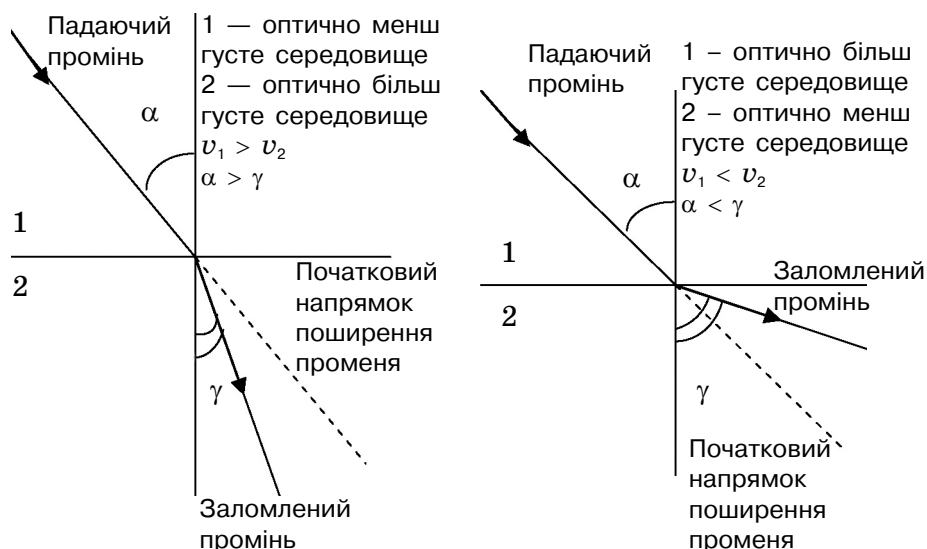
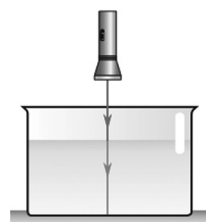


Рис. 15.4. Зв'язок між кутом падіння та кутом заломлення світлового променя:
а) під час переходу з оптично менш густого в оптично більш густе середовище;
б) під час переходу з оптично більш густого в оптично менш густе середовище

Рис. 15.5. Промінь світла, який падає перпендикулярно до границі розподілу середовищ, не заломлюється



Якщо промінь світла переходить з оптично менш густого в більш густе середовище, наприклад, із повітря у воду, його швидкість зменшується. Внаслідок цього промінь світла відхиляється від початкового напрямку поширення, наближаючись до перпендикуляра. Отже, під час переходу світла з менш густого середовища в оптично більш густе середовище кут заломлення γ буде меншим за кут падіння α (рис. 15.4, а).

Якщо промінь світла переходить з оптично більш густого в менш густе середовище, наприклад зі скла в повітря, його швидкість збільшується. Як наслідок, промінь світла відхиляється від початкового напрямку поширення, віддаляючись від перпендикуляру. Отже, під час переходу світла з оптично більш густого середовища в оптично менш густе кут заломлення γ буде більшим за кут падіння α (рис. 15.4, б).

Якщо світловий промінь падає перпендикулярно до границі розподілу середовищ, тобто коли кут падіння $\alpha = 0$, світловий промінь не заломлюється, тобто кут заломлення $\gamma = 0$ (рис. 15.5).

Збільшуючи кут падіння світлового променя, спостерігатимемо й збільшення кута заломлення, проте відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення для двох середовищ завжди лишатиметься сталим.

Відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення дорівнює відношенню швидкостей світла в цих середовищах і має назву «відносний показник заломлення світла»:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = n.$$

Чим більше значення відносного показника заломлення світла, тим більше змінюється швидкість світла під час його переходу з одного середовища в інше. Значення відносного показника заломлення, так само як і значення швидкостей світла в середовищі, не залежить від кута його падіння.

Отже, заломлення світла відбувається за такими законами:

Падаючий промінь, заломлений промінь та перпендикуляр, проведений до поверхні розподілу двох середовищ у точку падіння, лежать в одній площині.

Відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення є сталою величиною для двох даних середовищ:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n.$$

***ЯВИЩЕ ПОВНОГО ВІДБИВАННЯ СВІТЛА.** Розгляньте рис. 15.6, на якому зображено точкове джерело, розміщене в більш густому середовищі, наприклад, воді. Порівнюючи хід променів від точкового джерела бачимо, що внаслідок збільшення кута падіння світлового променя, збільшується і кут заломлення (промені 1—4). Із досягненням певного значення кута падіння

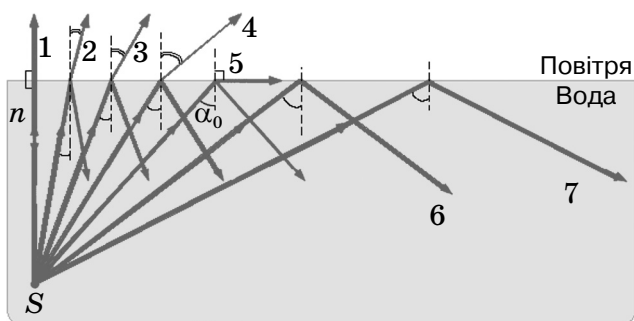


Рис.15.6. Поширення променів від точкового джерела, розміщеного в більш густому середовищі

α_0 промінь взагалі не перетинає границі розподілу середовищ (промінь 5), а кут заломлення становить 90° . Для кутів падіння $\alpha > \alpha_0$ світло не переходить в інше середовище і повністю відбивається від границі розподілу середовищ (промені 6 та 7).

Явище, за якого світло, поширюючись у більш густому середовищі, відбивається від границі розподілу з менш густим середовищем, не заломлюючись, називають явищем повного відбивання.

Зазнаючи повного внутрішнього відбивання, світло поширюється всередині світловоду. Це явище широко застосовується для передавання оптичних зображень на відстань, наприклад, у медицині. Крім того, їх можна використовувати замість металевих провідників для передавання інформації, збільшуючи в мільйон разів її обсяг (рис. 15.7).



Рис. 15.7. Поширення світла у світловоді (світло волокні)

! Головне в цьому параграфі

Заломленням світла називають зміну напрямку поширення світла під час переходу його через границю розподілу двох прозорих середовищ.

Середовище, де швидкість поширення світла менша, є оптично більш густим.

Світловий промінь заломлюється, якщо на границі розподілу середовищ швидкість світла змінюється.

Якщо промінь світла переходить з оптично менш густого в більш густе середовище, то кут заломлення γ буде меншим за кут падіння α .

Якщо промінь світла переходить з оптично більш густого в менш густе середовище, кут заломлення γ буде більшим за кут падіння α .

Закони заломлення:

— падаючий промінь, заломлений промінь та перпендикуляр, проведений до поверхні розподілу двох середовищ у точці падіння, лежать в одній площині;

— відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення є сталою величиною для двох даних середовищ.

? Запитання для самоперевірки

1. Опишіть явище, що спостерігається під час переходу світлового променя через границю розподілу двох середовищ.
2. Наведіть приклади явищ, що відбуваються внаслідок заломлення світла.
3. Поясніть причину явища заломлення світла.
4. Що називають оптично більш густим середовищем? Наведіть приклади.
5. Що називають кутом заломлення світла?
6. Сформулюйте закони заломлення світла.

Вправа до § 15

- 1 (п). Кут падіння променя становить 0° . Чому дорівнює кут заломлення?
- 2 (с). Зобразіть подальший хід променя, зображеного на рис. 15.8.
- 3 (с). Порівняйте кут заломлення світлового променя, який падає у повітрі під однаковим кутом на поверхню води, скла, алмазу. Відповідь зобразіть на рисунку.
- 4 (д). Промінь світла падає на трикутну призму ABC . Побудуйте подальший хід променя, якщо:
 - а) призма є скляною і перебуває у повітрі;
 - б) призма міститься у воді, а всередині призми перебуває повітря (вважайте, що поверхні призми дуже тоненькі).
- 5 (д). Людині, яка стоїть на березі, здається, що ноги людини, котра заходить у воду, стають коротшими. Поясніть за допомогою рисунка цей оптичний обман.
- 6 (в). Промінь світла падає на поверхню середовища під кутом 50° . Визначте кут заломлення, якщо заломлений промінь перпендикулярний до відбитого.
- 7 (в). Визначте швидкість світла у воді, якщо показник заломлення відносно води дорівнює приблизно 1,3.
- 8 (в). Поясніть за допомогою рисунка, чому положення зірок та Сонця нам здається дещо вищим, ніж воно є насправді. Як зміниться їх положення якщо спостерігати за ними з води?

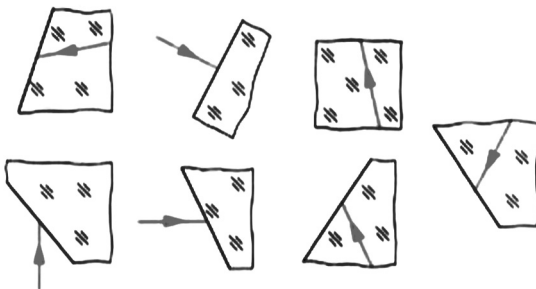


Рис. 15.8. До завдання 2

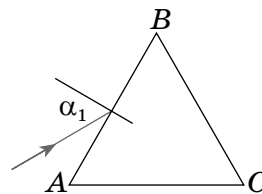


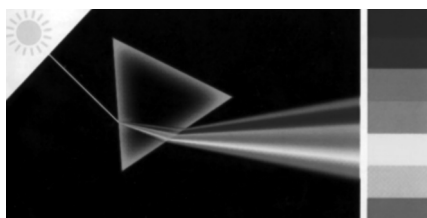
Рис. 15.9. До завдання 4

§ 16. Дисперсія світла

- ▶ *Дисперсія світла*
- ▶ *Спектральний склад природного світла*
- ▶ *Кольори*

ДИСПЕРСІЯ СВІТЛА. З попереднього параграфа вам відомо, що відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення, як і відношення швидкостей світла у двох середовищах, не залежить від кута падіння світла. Проте, як з'ясувалося, значення цього відношення залежить від кольору світла. Вперше такого висновку дійшов Ісак Ньютон. Удосконалюючи телескоп, І. Ньютон звернув увагу на те, що зображення, яке він одержував за допомогою об'єктива, має забарвлення. Зацікавившись цим явищем, учений уперше дослідив особливості розмаїття світлових променів. Райдужне забарвлення, що утворюється внаслідок проходження світла крізь призму чи лінзу, спостерігали, звичайно, і до Ньютона, проте детально хід світлових променів, які пройшли крізь скляну трикутну призму, вперше дослідив саме він.

Основний дослід Ньютона був геніально простим (рис. 16.1). Він здогадався спрямувати на призму світловий пучок малого поперечного перерізу тобто вузький пучок. Він проходив у затемнену кімнату крізь маленький отвір у ставні. Потрапляючи на скляну при-



а) б)

Рис. 16.1. Дослід Ньютона:
а) розкладання білого світла
скляною призмою;
б) спектр світла

зму, пучок заломлювався і давав на протилежній стіні зображення, в якому, як у веселці, смуги плавно переходили одна в одну.

За аналогією з веселкою І. Ньютон виокремив сім основних кольорів: червоний, помаранчевий, жовтий, зелений, блакитний, синій та фіолетовий. Саму *різнокольорову смугу на стіні Ньютон назвав спектром*. А *явище розкладання білого світла у спектр дістало назву дисперсії світла*.

СПЕКТРАЛЬНИЙ СКЛАД ПРИРОДНОГО СВІТЛА. Коли на шляху поширення променя Ньютон розміщував скло червоного кольору, на стіні залишалася лише червона смуга, коли зелене — зелена смуга і так далі. Проаналізувавши результат експерименту, І. Ньютон дійшов висновку, що призма не фарбує світло, а лише розкладає його на складові. Учений зробив висновок про те, що *біле світло має складну структуру і лише поєднання всіх*

компонентів разом створює в нас відчуття білого світла. Переконатися в цьому можна, спрямувавши світло на ще одну таку саму призму, обернену до першої на кут 180° (рис. 16.2).

Інший важливий висновок, який зробив І. Ньютон, полягав у тому, що *в повітрі всі компоненти білого світла поширюються разом з однаковою швидкістю.*

У речовині кожен компонент білого світла має свій ступінь заломлення, оскільки має свою швидкість.

Скажімо, під час перетину границі розподілу середовищ швидкість червоного світла змінюється найменше, тому в речовині червоне світло в речовині має найбільшу швидкість і менше за інші компоненти відхиляється від свого попереднього напрямку. Разом із тим у фіолетового світла швидкість зменшується найбільше, тому фіолетовий світловий пучок відхиляється найбільше від початкового напрямку.

Той факт, що в середовищі швидкість світлового пучка для кожного певного кольору (v) має значення, можна довести, спираючись на закон заломлення світла $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c}{v}$. Оскільки в повітрі

всі компоненти білого світла мають однакову швидкість $c = 3 \cdot 10^8$ м/с і кут їх падіння α (відповідно й $\sin \alpha$) є однаковим, то $\sin \beta = \frac{v \sin \alpha}{c}$ (а відповідно й β) буде більшим для світлових пучків, яким властива більша швидкість у середовищі.

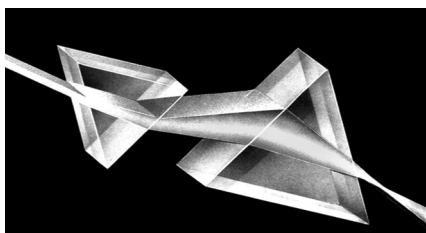


Рис. 16.2. Поеднання всіх компонентів природного світла створює в нас відчуття білого світла

Дисперсією світла називають залежність швидкості поширення світлового пучка в середовищі від кольору світла.

Таке природне явище, як веселка (рис. 16.3, а), також пояснюється фізичним явищем дисперсії світла, тільки роль призми відіграють маленькі краплинки води, що залишилися в повітрі після дощу. Мабуть, ви звертали увагу на те, що під час спостереження веселки Сонце завжди перебуває з протилежного боку. Промені світла, потрапляючи всередину краплинки, відбиваються від її внутрішньої поверхні, а потім заломлюються як у призмі й виходять назовні.

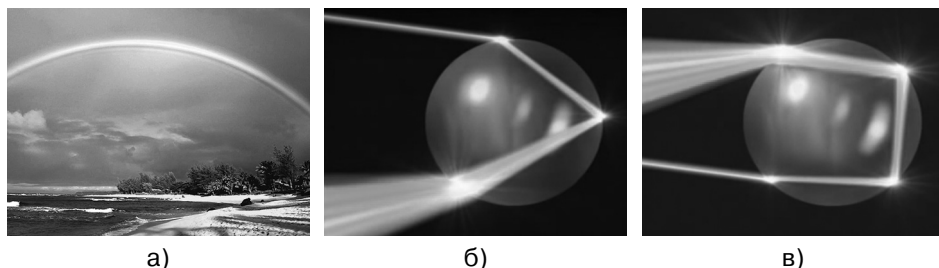


Рис. 16.3. Природне явище веселки

Чи звертали ви увагу на послідовність кольорів, розглядаючи веселку? Так, на зовнішньому боці, найвище над землею, розташована червона смуга, а на внутрішній частині, найближче до землі, — фіолетова. Іноколи можна спостерігати дві веселки (рис. 16.3, а). Проте друга веселка буде значно менш виразною і матиме зворотний порядок розташування кольорів, оскільки світло всередині краплини відбивається не один, а два рази (рис. 16.3, в). Завдяки цьому кольори в ній розташовуються навпаки.

Повітря, хоча й здається нам прозорим, також розкладає світло на компоненти. Найпомітніше це під час сходу або заходу сонця. Проходячи крізь атмосферу Землі, компоненти білого світла відхиляються від початкового напрямку поширення, причому найменше відхиляється червоне світло. Саме тому, перебуваючи біля горизонту, Сонце набуває червоного відтінку, а інші компоненти ми просто не бачимо, оскільки вони розміщені нижче від лінії горизонту (рис. 16.4).

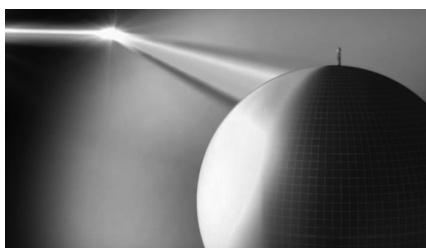


Рис. 16.4. Заломлення світлового пучка під час проходження атмосфери Землі

КОЛЬОРИ. Складною структурою білого світла можна пояснити існування розмаїття кольорів у природі. Скажімо, аркуш паперу здається нам білим тому, що він має здатність відбивати світлові пучки всіх кольорів, які на нього потрапляють. Чорний — навпаки, поглинає всі компоненти білого світла. Траву сприймаємо зеленою, оскільки вона поглинає всі компоненти білого світла, а зелений відбиває. Якщо траву розглядати крізь червоне скло, вона здаватиметься нам майже чорною, позаяк крізь червоне скло можуть проходити лише червоні промені, а решта поглинаються.

Червоні промені мають більшу швидкість у повітрі й тому розсіюються слабше, ніж промені іншого кольору. Як наслідок, промені червоного світла поширюються на більші відстані, ніж інші

компоненти білого світла. Цим зумовлений вибір кольору сигналу про небезпеку у світлофорах. Найбільше розсіяння блакитного, синього та фіолетового компонентів зумовлює колір неба.

! Головне в цьому параграфі

Біле світло має складну структуру, і лише поєднання всіх компонентів разом створює в нас відчуття білого світла.

У повітрі всі компоненти білого світла поширюються разом з однаковою швидкістю. У речовині кожен із компонентів білого світла має свій ступінь заломлення, оскільки має свою швидкість. У результаті заломлення білого світла отримуємо спектр із семи основних кольорів (червоний, помаранчевий, жовтий, зелений, блакитний, синій та фіолетовий).

Дисперсією світла називають залежність швидкості поширення світлового пучка в середовищі від кольору світла.

Навколишній світ ми бачимо різнокольоровим, оскільки різні тіла по-різному відбивають і заломлюють світло.

? Запитання для самоперевірки

1. У чому полягала суть досліду Ньютона з дослідження дисперсії світла?
2. Сформулюйте визначення явища дисперсії світла.
3. Поясніть причину явища дисперсії світла.
4. Які природні явища пояснюються дисперсією світла?
5. Промені якого кольору найбільше та найменше відхиляються від початкового напрямку поширення? Поясніть причину.
6. Порівняйте, для якого кольору — жовтого або блакитного — швидкість світла в середовищі має більше значення.
7. Поясніть, чому сигналом небезпеки у світлофорі є червоне світло.

Вправа до § 16

- 1 (п). Поясніть, чому ми бачимо листя на деревах зеленим.
- 2 (с). На білому папері в щоденнику вчитель написав учню зауваження. Через яке скло учень має показувати його батькам, щоб зауваження було невидимим? Якого кольору буде напис, якщо подивитися на нього крізь зелене скло?
- 3 (д). Поясніть, чому розглядаючи крізь призму білу стіну, аркуш паперу ми бачимо зафарбованими лише їх нижній і верхній краї. Поясніть, чому змінюється розташування кольорів, коли призму розвернути на кут 180° .
- 4 (в). Знаючи швидкість світла у вакуумі, обчисліть його швидкість у алмазі та склі. Показник заломлення для води 1,3, для скла 1,5.
- 5 (в). Показник заломлення води для червоного світла становить 1,33, а для фіолетового 1,34. Порівняйте швидкість світла у воді для цих променів.

Готуємося до виконання навчального проекту

Завдання 1. Відомо, що одержати біле світло можна, спрямувавши промені семи основних компонентів у одну ділянку, проте зробити це самостійно доволі складно. Виконаємо інший дослід. Його ідея базується на інерційності людського зору. Ми не можемо розрізнати картинки, які змінюються дуже швидко, тому в нашій уяві вони зливаються в одне ціле.

Візьмемо аркуш білого паперу й намалюємо на ньому диск. Розфарбуємо цей диск як показано на рисунку. Під час швидкого обертання диска кольори в нашій уяві будуть зливатися і, врешті-решт, ми побачимо, як різнокольоровий диск стане білим (рис. 16.5). Швидко обертати диск можна різними способами, наприклад, насадивши його на вістря олівця чи ручки або прикріпивши до електричного двигуна для іграшок.

Спробуйте повторити дослід, розфарбувавши диск в основні кольори спектра: червоний, зелений та синій. Опишіть явище, яке спостерігаєте. Проаналізуйте та зробіть висновок.

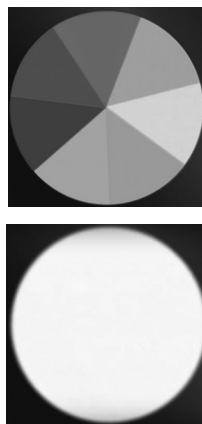


Рис. 16.5.
Зміна кольору
диска
в міру збільшення
швидкості його
обертання

Завдання 2. Над вивченням дисперсії світла та його використанням у науці й техніці працюють в усьому світі та в Україні. Використовуючи різні джерела підготуйте інформаційний навчальний проект про розробки вітчизняних учених у цьому напрямі.

§ 17. Лінзи

- ▶ *Лінзи. Види лінз*
- ▶ *Основні точки і лінії лінзи*
- ▶ *Властивості променів, що проходять крізь лінзу*
- ▶ *Побудова зображення в лінзах*

ЛНЗИ. ВИДИ ЛНЗ. Найімовірніше, кожен із вас мав справу з приладами, основною частиною яких є лінзи. Лінза — це необхідна складова окулярів, мікроскопа, лупи, фотоапарата, бінокля тощо. Спробуємо детальніше розібратися з тим, що ж собою являє лінза і завдяки яким властивостям вона набула такого широкого використання.

Лінзою називають прозоре тіло, обмежене двома сферичними поверхнями.

Лінза може бути обмежена двома опуклими сферичними поверхнями (двокоопукла лінза, рис. 17.1, а), опуклою сферичною і плоскою поверхнями (плоско-опукла лінза, рис. 17.1, б), опуклою й увігнутою сферичними поверхнями (увігнуто-опукла лінза, рис. 17.1, в). Ці лінзи посередині є товщими, ніж біля країв, тому всіх їх називають **збиральними**, або **опуклими**.

Лінзи, які посередині тонші, ніж біля країв, називають увігнутими (рис. 17.2): двоко-увігнута (рис. 17.2, а), плоско-увігнута (рис. 17.2, б), опукло-увігнута (рис. 17.2, в).

Вивчаючи лінзи, ми будемо розглядати найпростіші випадки, коли товщина лінзи настільки мала порівняно з радіусами R_1 та R_2 поверхонь лінзи (рис. 17.3), що нею можна знехтувати. Таку лінзу називають **тонкою**. Надалі будемо розглядати лише тонкі лінзи.

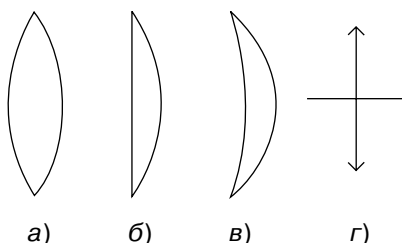


Рис. 17.1. Збиральні лінзи:

а) двокоопукла;

б) плоско-опукла;

в) увігнуто-опукла;

г) позначення збиральної лінзи

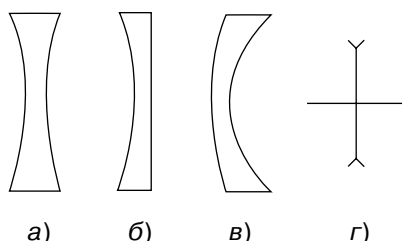


Рис. 17.2. Розсіювальні лінзи:

а) двокоувігнута;

б) плоско-увігнута;

в) опукло-увігнута;

г) позначення розсіювальної лінзи

ОСНОВНІ ТОЧКИ ТА ЛІНІЇ ЛІНЗИ. Пряму, що з'єднує центри сферичних поверхонь лінзи називають, *головною оптичною віссю*. У центрі лінзи розташована точка, яку називають її оптичним центром, тобто *оптичний центр лінзи* — це точка перетину площини лінзи і головної оптичної осі. Оптичний центр лінзи позначають літерою O (рис. 17.3). Будь яку іншу пряму, що проходить через оптичний центр, називають *побічною оптичною віссю*.

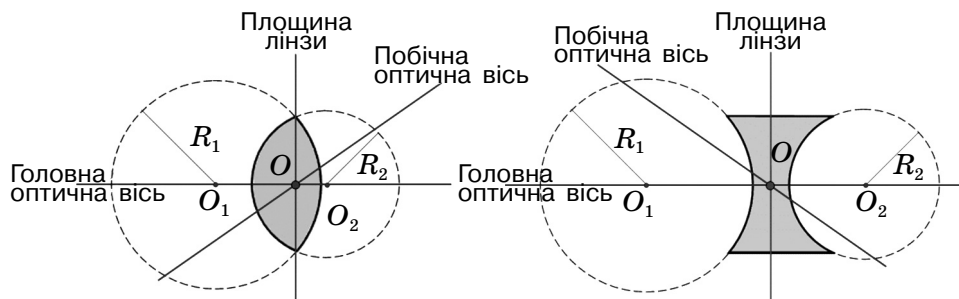


Рис. 17.3. Основні точки та лінії лінзи

Спрямуємо на лінзу пучок променів, паралельних головній оптичній осі (рис. 17.4). Після заломлення променів, що падали на опуклу лінзу (рис. 17.4, а), перетинаються в одній точці, яка лежить на головній оптичній осі. Цю точку називають **фокусом лінзи (F)**. Фокус опуклої (збиральної) лінзи є дійсним, оскільки в ньому збираються самі промені, а не їх продовження. Замінивши лінзу на увігнуту (рис. 17.4, б), одержимо розбіжний пучок променів.

Отже, увігнута лінза розсіює пучок паралельних променів, причому, зверніть увагу, продовження розсіяних променів перетинаються в одній точці, яка лежить на головній оптичній осі. Цю точку називають **уявним фокусом**.

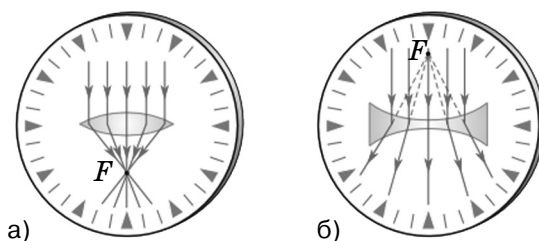


Рис. 17.4. Фокуси лінзи:

- а) дійсний фокус (F) збиральної лінзи;
- б) уявний фокус (F) розсіювальної лінзи

Площину, що проходить через фокус лінзи і перпендикулярна головній оптичній осі, називають **фокальною площиною**.

ВЛАСТИВОСТІ ПРОМЕНІВ, ЩО ПРОХОДЯТЬ КРІЗЬ ЛІНЗУ. Розглянемо властивості світлових променів, які проходять крізь тонку збиральну лінзу (рис. 17.5). Як зазначалося вище, промінь, що проходить паралельно головній оптичній осі лінзи (промінь 1), заломившись нею, проходить через фокус. Промінь, який проходить через головний фокус лінзи (промінь 2), після заломлення його лінзою проходить паралельно головній оптичній осі. Промінь, що збігається з побічною віссю збиральної лінзи, не заломлюється.

На рис. 17.5, б показано, що промені, які падають на збиральну лінзу паралельно побічній оптичній осі, після заломлення лінзою збираються в одній точці, що лежить на цій побічній осі. Таку точку називають **побічним фокусом (F')**.

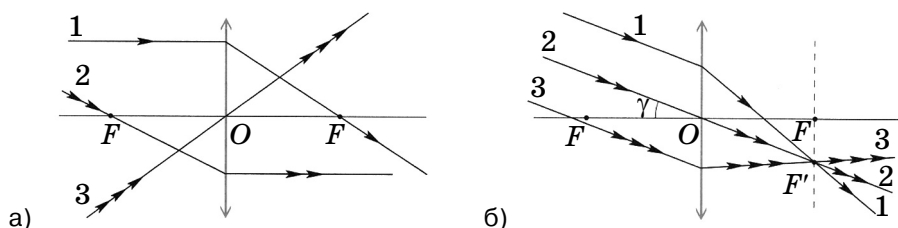


Рис. 17.5. Хід променів через збиральну лінзу

Хід променів, які проходять крізь розсіювальну лінзу, зображено на рис. 17.6. Промінь, що проходить паралельно головній оптичній осі розсіювальної лінзи (промінь 1), заломлюється лінзою так, що його продовження перетинає уявний фокус лінзи. Промінь, який проходить через уявний фокус лінзи, що перебуває на головній оптичній осі (промінь 2), після заломлення лінзою проходить паралельно головній оптичній осі. Промінь, який збігається з побічною віссю розсіювальної лінзи, не заломлюється (подібно до збиральної лінзи).

На рис. 17.6, б показано, що промені, які падають на розсіювальну лінзу паралельно побічній оптичній осі, заломлюються цією лінзою так, що їх продовження перетинаються в одній точці, розташованій на паралельній їй побічній осі. Цю точку називають побічним уявним фокусом (F').

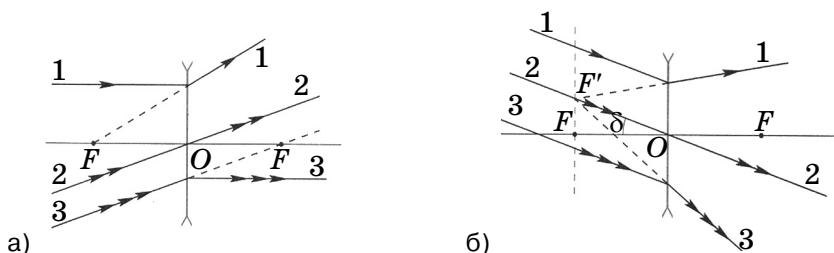


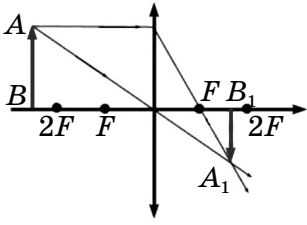
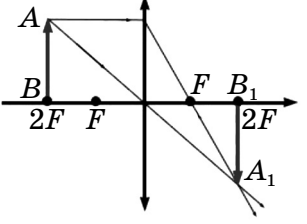
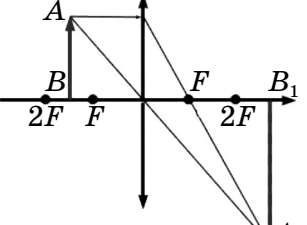
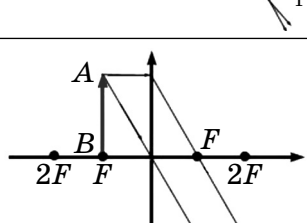
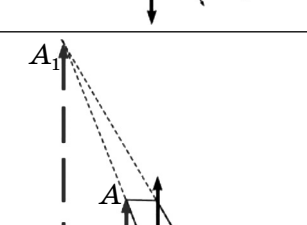
Рис. 17.6. Хід променів через розсіювальну лінзу

ПОБУДОВА ЗОБРАЖЕННЯ В ЛІНЗАХ. Вам уже відомо, що ми бачимо тіла, оскільки вони випромінюють або відбивають світло. Для побудови зображення, одержаного за допомогою лінзи скористаємося знаннями з математики про те, що точку на площині можна одержати перетином хоча б двох прямих. Це означає, що для побудови зображення певної точки, одержаного за допомогою лінзи, достатньо скористатися ходом двох променів, які виходять із цієї точки.

Наприклад, із нескінченної кількості променів, що йдуть від точки A , яка належить предмету AB , обираємо два промені, хід яких нам відомий: один із них паралельний головній оптичній осі, другий проходить через оптичний центр. Після проходження променів крізь лінзу вони перетинаються в точці A' , яка і є зображенням точки A . Таким способом можна побудувати велику кількість точок, що належать предмету AB , проте якщо предмет перпендикулярний головній оптичній осі, то зображення всіх його точок буде розташоване також перпендикулярно цій осі. Якщо точка лежить на головній оптичній осі, то і її зображення також перебуває на цій осі. Отже, скориставшись наведеними міркуваннями, просто проведемо перпендикуляр до оптичної осі з точки A_1 — це і буде зображення предмета A_1B_1 (табл. 17.1). Зверніть увагу на те, що характеристика зображення, одержаного за допомогою тонкої збиральної лінзи, залежить від відстані між нею (d) та предметом.

Таблиця 17.1

Види зображень, що дає збиральна лінза

Побудова зображення	Характеристика зображення
	Якщо предмет розташований за подвійним фокусом (на відстані $d > 2F$), зображення буде зменшеним, перевернутим, дійсним, перебуватиме в точці між $2F$ і F на іншому боці від лінзи
	Якщо предмет розташований у подвійному фокусі лінзи (на відстані $d = 2F$), зображення дорівнюватиме за висотою предмету, буде перевернутим і дійсним, міститиметься в точці $2F$ по інший бік від лінзи
	Якщо предмет розташований між подвійним фокусом та фокусом лінзи (між $2F$ і F), зображення буде перевернутим, збільшеним, дійсним, перебуватиме за $2F$ по інший бік від лінзи.
	Якщо предмет розташований у фокусі лінзи (на відстані $d = F$), промені виходитимуть із лінзи паралельно до променя, що проходить через оптичний центр, і зображення не буде
	Якщо предмет розташований між фокусом F і оптичним центром лінзи (на відстані $d < F$), зображення буде прямим, уявним, збільшеним і розміщуватиметься по той самий бік від лінзи, що і предмет

На відміну від збиральної лінзи, розсіювальна лінза дає тільки один тип зображень, який не залежить від відстані розташування предмета й лінзи (рис. 17.7). Зверніть увагу на те, що зображення точки в цьому випадку визначається перетином двох ліній: променя, що виходить з точки A та проходить через оптичний центр лінзи, й продовження променя, який напрямлений паралельно головній оптичній осі та заломився лінзою. Оскільки зображення предмета одержано перетином не променів, а продовжень, воно є *зменшеним, прямим і уявним*, воно *перебуватиме по той самий бік від лінзи, що й предмет*.

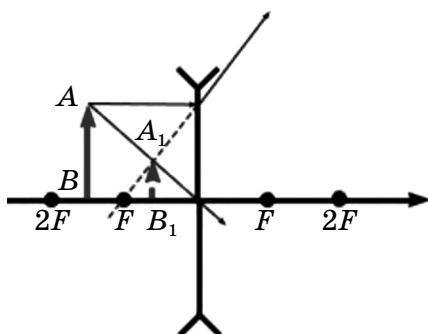


Рис. 17.7. Зображення предмета, одержаного за допомогою розсіювальної лінзи

! Головне в цьому параграфі

Лінзою називають прозоре тіло, обмежене двома сферичними поверхнями.

Основні точки та лінії лінзи:

- головна оптична вісь — пряма, що з'єднує центри сферичних поверхонь лінзи;
- оптичний центр лінзи (O) — точка перетину площини лінзи і головної оптичної осі;
- побічна оптична ось — пряма, що проходить через оптичний центр під довільним кутом до неї.

Щоб побудувати зображення точки, одержане за допомогою лінзи, достатньо скористатися двома променями, хід яких відомий.

Характеристика зображення, одержаного за допомогою збиральної лінзи, залежить від його положення. Розсіювальна лінза дає один тип зображення предмета.

? Запитання для самоперевірки

1. Що називають лінзою?
2. Поясніть принцип побудови зображення, одержаного за допомогою лінзи.
3. Поясніть, від чого залежить характеристика зображення предмета, одержаного за допомогою збиральної лінзи.
4. У яких випадках зображення предмета називають уявним, а в яких дійсним?
5. Краплі води, які потрапляють жаркої літньої днини на листя рослин, можуть спричинити на них опіки. Поясніть, чому так відбувається.

Вправа до § 17

- 1 (п).** На рис. 17.8 показана лінза. Визначте її тип. Зобразіть лінзу в зошиті й покажіть центри кривизни поверхонь, що обмежують лінзу, радіуси кривизни, головну оптичну вісь, оптичний центр, фокуси та подвійні фокуси, а також фокальні площини (див. рисунок до задачі).
- 2 (с).** Побудуйте зображення предмета, одержаного за допомогою лінз, та дайте його характеристику (рис. 17.9).



Рис. 17.8.
До завдання 1

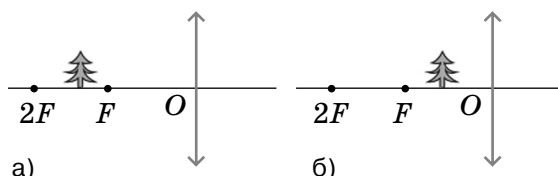


Рис. 17.9. До завдання 2

- 3 (с).** Побудуйте зображення предмета, розташованого у потрібному фокусі лінзи (на відстані $d = 3F$, що в три рази більша за відстань між оптичним центром та фокусом).
- 4 (д).** На рисунку зображено головну оптичну вісь CC' , предмет S та його зображення S' . Визначте тип лінзи. Виконавши необхідні побудови, визначте положення оптичного центра та фокусів лінзи (рис. 17.10).

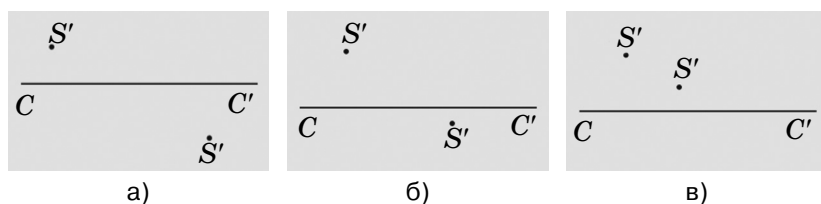


Рис. 17.10. До завдання 4

- 5 (д).** Покажіть подальший хід променів, що падають на збиральну та розсіювальну лінзи (рис. 17.11).

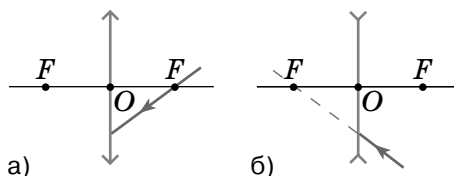


Рис. 17.11. До завдання 5

- 6 (в).** Побудуйте зображення точкового джерела світла S , розташованого на головній оптичній осі лінзи (рис. 17.12).

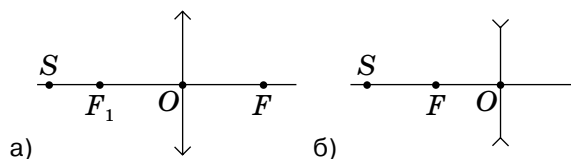


Рис. 17.12. До завдання 6

- 7 (в).** Побудуйте зображення предмета AB , одержане за допомогою лінзи (рис. 17.13).

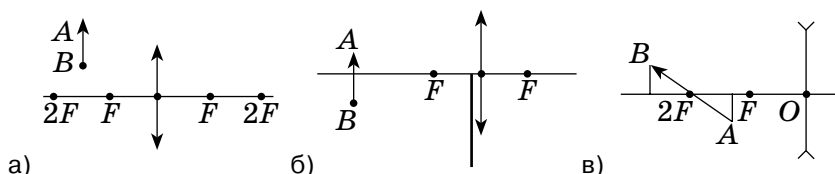
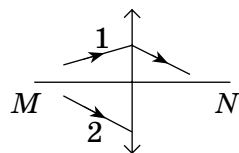
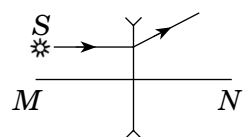


Рис. 17.13. До завдання 7

- 8 (в).** На рисунку зображено головну оптичну вісь MN , площину лінзи та світлові промені 1 і 2. Побудуйте подальший хід світлового променя 2 після заломлення його лінзою (рис. 17.14).

Рис. 17.14.
До завдання 8

- 9 (в).** На рис. 17.15 показано хід світлового променя, який пройшов через розсіювальну лінзу. Виконайте необхідні побудови та визначте положення головного фокуса лінзи і зображення S' точки S . Дайте характеристику одержаного зображення.

Рис. 17.15.
До завдання 9

- 10 (в).** Побудуйте подальший хід світлових променів, зображених на рис. 17.16.

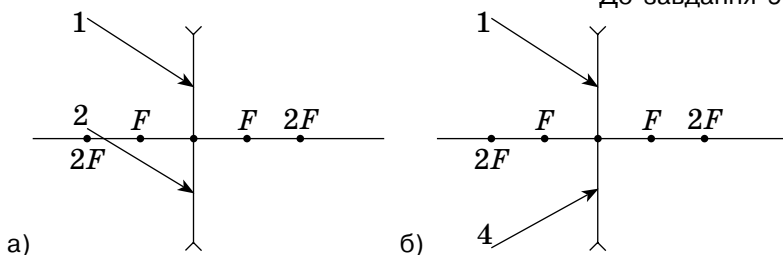


Рис. 17.16. До завдання 10

- 11 (в).** Як зміниться зображення предмета, якщо половину лінзи закрити (рис. 17.17).

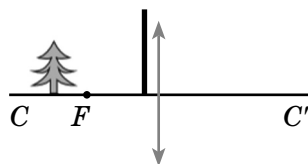


Рис. 17.17. До завдання 11

§ 18. Формула тонкої лінзи

- ▶ Оптична сила й фокусна відстань лінзи
- ▶ Формула тонкої лінзи
- ▶ *Збільшення лінзи

ОПТИЧНА СИЛА Й ФОКУСНА ВІДСТАНЬ ЛІНЗИ. Напевно, вам доводилося спостерігати той факт, що різні лінзи по-різному збільшують або зменшують зображення предмета, а отже, мають різну здатність заломлювати світлові промені.

Однією з величин, що характеризує заломлюючу здатність лінзи, є фокусна відстань. Фокусну відстань лінзи, як і фокус, позначають літерою F .

Фокусною відстанню називають відстань від оптичного центра (O) до головного фокуса лінзи (F).

На рис. 18.1 зображено дві лінзи, які мають різну заломлюючу здатність. Лінза 1 (рис. 18.1, а), що має більш опуклі поверхні, заломлює промені сильніше, ніж лінза 2 (рис. 18.1, б), проте фокусна відстань F_1 лінзи 1 менша за F_2 лінзи 2.

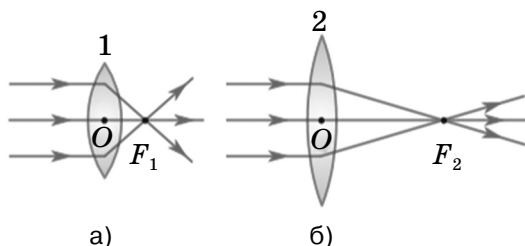


Рис. 18.1. Лінзи з різною заломлюючою здатністю

Для кількісного оцінювання заломлюючої здатності лінзи використовують фізичну величину, яку називають оптична сила лінзи.

Оптичною силою лінзи називають величину, обернену її фокусній відстані:

$$D = \frac{1}{F}.$$

Одиницею оптичної сили лінзи є діоптрія, яку скорочено позначають дптр:

$$[D] = \text{дптр}.$$

1 діоптрія — оптична сила лінзи з фокусною відстанню 1 м.

Для збиральної лінзи фокусна відстань, а відповідно, й оптична сила є додатними ($F > 0$, $D > 0$), для розсіювальної лінзи — від'ємними ($F < 0$, $D < 0$).

Наприклад, оптична сила збиральної лінзи з фокусною відстанню $F = 0,5$ м становить $D = \frac{1}{0,5 \text{ м}} = 2$ дптр, для розсіювальної лінзи з $F = -0,5$ м, $D = -\frac{1}{0,5 \text{ м}} = -2$ дптр.

ФОРМУЛА ТОНКОЇ ЛІНЗИ. Виявляється, що знаючи оптичну силу (фокусну відстань) лінзи, можна обчислити відстань, на якій перебуватиме зображення предмета і, скажімо, необхідно розташувати екран, щоб одержати зображення.

Для розрахунків положення зображення предмета в лінзах та обчислення характеристик різних оптичних систем використовується формула тонкої лінзи

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f},$$

де F — фокусна відстань лінзи; d — відстань від предмета до лінзи; f — відстань від зображення предмета до лінзи (рис. 18.2).

Скориставшись залежністю між фокусною відстанню лінзи та її оптичною силою $D = \frac{1}{F}$, формулу тонкої лінзи можна записати у вигляді

$$D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}.$$

Під час використання формули тонкої лінзи слід пам'ятати: якщо лінза дає уявне зображення, то відстань f є від'ємною ($f < 0$), тому перед літерою f ставлять знак «-». Нагадаємо, що для розсіювальної лінзи від'ємними є також фокусна відстань та оптична сила лінзи ($F < 0$, $D < 0$), тому перед літерою F та D ставлять знак «-».

Коли F , d , f є невідомими, перед відповідними доданками ставлять знак «+». Проте, якщо в результаті обчислень фокусної відстані або відстані до зображення предмета одержуємо від'ємне значення, то це означає, що вони є уявними, тобто уявний фокус (розсіювальна лінза) або ж уявне зображення.

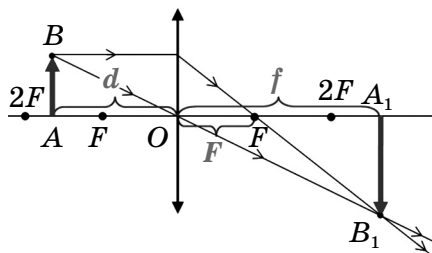
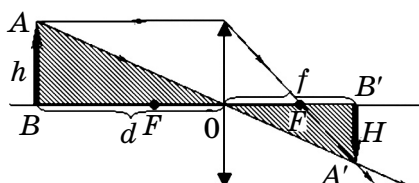


Рис. 18.2. Зображення відстаней F , d , f , пов'язані формулою тонкої лінзи

***ЗБІЛЬШЕННЯ ЛІНЗИ.** Зображення, яке дає тонка лінза, зазвичай відрізняється за розмірами від предмета. Величиною, що характеризує відмінність між розмірами предмета та зображення, є збільшення.

Лінійним збільшенням називають відношення лінійного розміру зображення H до лінійного розміру предмета h (рис. 18.3):

$$\Gamma = \left| \frac{H}{h} \right|.$$



Оскільки трикутники OAB та $OA'B'$ є подібними, то справедливим також буде вираз

$$\left| \frac{H}{h} \right| = \left| \frac{f}{d} \right| = \Gamma.$$

Рис. 18.3. Лінійне збільшення тонкої лінзи

! Головне в цьому параграфі

Фокусною відстанню називають відстань від оптичного центра (O) до головного фокуса лінзи (F).

Оптичною силою лінзи називають величину, обернену її фокусній відстані: $D = \frac{1}{F}$. Одиницею оптичної сили лінзи є діоптрія, яку скорочено позначають дптр.

Для розрахунків положення зображення предмета в лінзах та обчислень різних оптичних систем використовується формула тонкої лінзи

$$D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f},$$

де D — оптична сила лінзи; d — відстань від предмета до лінзи; f — відстань від зображення предмета до лінзи.

? Запитання для самоперевірки

1. Як за зовнішньою ознакою встановити, яка з двох лінз має меншу фокусну відстань? У якій з цих лінз більша заломлююча здатність?
2. Яка з двох лінз, що мають різні фокусні відстані, дає менше збільшення предмета?
3. Яку величину називають оптичною силою лінзи?
4. Чим відрізняються між собою лінзи з оптичною силою $+2$ дптр та -2 дптр?
5. На аркуш паперу з текстом впала краплина прозорого клею. Поясніть, чому літери, які видно крізь краплину, здаються більшими за сусідні.

6. Запишіть формулу тонкої лінзи та поясніть, у яких випадках значення d , f , F або D є додатними, а в яких від'ємними.

Вправа до § 18

- 1 (п). Обчисліть оптичну силу збиральної і розсіювальної лінз із фокусними відстанями $F_1 = 4$ м, $F_2 = -0,4$ м.
- 2 (с). Визначте фокусну відстань та вид лінз, оптичні сили яких $D = -5$ дптр, $D = -5$ дптр та $D = 0,5$ дптр.
- 3 (д). Чому дорівнює оптична сила комбінації трьох скляних лінз: двояко-увігнутої та двох плоско-опуклих?
- 4 (д). Чи може двояко-опукла лінза мати від'ємну оптичну силу? Відповідь поясніть.
- 5 (д). Як зміниться оптична сила двояко-опуклої скляної лінзи, якщо її помістити у воду?
- 6 (д). Предмет розташований у подвійному фокусі збиральної лінзи. Його зображення перебуває на відстані 40 см від площини лінзи. Визначте оптичну силу лінзи.
- 7 (д). Предмет розташований на відстані 20 см від лінзи, а його зображення на екрані на відстані 60 см від оптичного центра. Обчисліть оптичну силу лінзи.
- 8 (д). За допомогою збиральної лінзи, оптична сила якої 12,5 дптр на екрані, розміщеному на відстані 12 см від лінзи, одержали дійсне зображення предмета. Визначте, на якій відстані від лінзи перебував предмет.
- 9 (в). Свічка розташована на відстані 40 см від збиральної лінзи з оптичною силою 2 дптр. Визначте відстань від оптичного центра лінзи до зображення предмета. Дайте характеристику одержаного зображення. Відповідь поясніть за допомогою малюнка. Скориставшись малюнком порівняйте розміри предмета та його зображення.



Рис.
18.4.
До завдання 3

Готуємося до виконання навчального проекту

Завдання 1. Використовуючи інформаційні джерела підготуйте навчальний проект про використання лінз у науці та техніці.

Завдання 2. Відомо, що перші збільшувальні лінзи були зроблені за допомогою води, яку наливали в ємності круглого перетину. Візьміть невеличку скляну пляшечку або колбу ємністю до 50 см^3 , наповніть її водою та щільно закрийте. Поклавши суху пляшечку з водою на сторінку з текстом, подивіться на букви під нею. Як поводить себе зображення під час руху пляшечки? Повторіть дослід, наповнивши ємність оцтовою кислотою. В якому випадку ємність із рідиною буде збиральною, а в якому — розсіювальною? Відповідь поясніть.

§ 19. Око як оптична система

- ▶ *Око як оптична система*
- ▶ *Зір і бачення*
- ▶ *Вади зору та їх корекція*

ОКО ЯК ОПТИЧНА СИСТЕМА. Основну частину інформації про навколишній світ людина отримує завдяки зору. Спробуємо з'ясувати, що ж являє собою око людини з погляду фізики. Інколи око називають живим фотоапаратом, маючи на увазі схожість між ними. Проте око є значно складнішою оптичною системою, ніж фотоапарат.

Око людини має майже сферичну форму. Його діаметр приблизно дорівнює 2,5 см. Основними компонентами ока як оптичної системи є зовнішня оболонка білого кольору — склера (рис. 19.1). Склера складається з щільних з'єднувальних волокон і захищає око, забезпечуючи його механічну жорсткість. З внутрішньої частини склера вкрита судинною оболонкою, яка забезпечує живлення ока. У передній частині склера переходить у прозору рогівку ока. Рогівка є оптично найщільнішим середовищем ока, через неї світло проходить всередину ока. За рогівкою ока знаходиться райдужна оболонка, яка містить пігмент, що визначає колір очей людини. У центрі райдужної оболонки міститься зіниця. Зіниця ока, звужуючись або розширюючись, дозує кількість надходження світлової енергії, яка в нього потрапляє. На світлі зіниця звужується, захищаючи око від сильного світлового впливу, в темряві — розширюється, намагаючись допомогти вловити дуже слабкі світлові пучки. За райдужною оболонкою міститься прозоре еластичне тіло — кришталік, що нагадує двоопуклу лінзу. Зусиллям спеціальних м'язів кришталік може збільшувати або зменшувати свою кривизну (опуклість). Це зумовлює збільшення чи зменшення

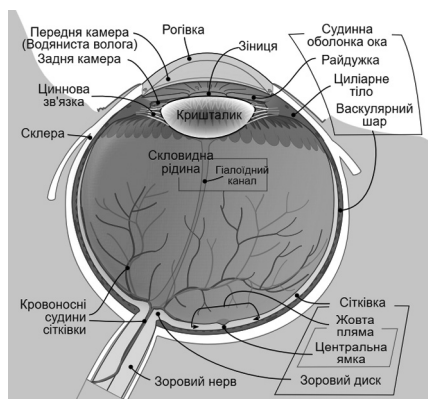


Рис. 19.1. Будова ока людини

оптичної сили кришталіка. Простір (камера) між рогівкою ока та райдужною оболонкою заповнений прозорою рідиною. За кришталіком майже вся ділянка заповнена склоподібним тілом. Внутрішня оболонка — сітківка ока — містить шар зорових клітин. Саме тут світлова енергія, яка потрапляє в око від предмета, перетворюється на нервові імпульси, що надходять до головного мозку, де і перетворюються в зорові образи.

Отже, оптична система ока складається з рогівки ока, передньої камери, заповненої прозорою рідиною, кришталика, склоподібного тіла та сітківки ока. Щоб чітко бачити предмет, необхідно, аби оптична система ока сфокусувала промені, які надходять від предмета, на сітківці ока.

ЗІР І БАЧЕННЯ. Ми добре бачимо як ближчі предмети, так і розташовані подалі. Водій автомобіля чітко бачить цифри на спідометрі, а в наступну мить так само чітко — віддалений дорожній знак. В усіх випадках світло, що потрапило від предметів у око, має сфокусуватися на сітківці. Ми знаємо, що положення зображення залежить від відстані до предмета, а також оптичної сили (кривизни) лінзи. Змінюючи форму, кришталик змінює оптичну силу системи.

Пристосування ока до чіткого бачення предметів, розміщених на різній відстані від нього, називають акомодацією.

Під час наближення предмета кришталик стає опуклішим, його фокусна відстань зменшується так, щоб зображення предмета утворилося саме на сітківці ока. Під час віддалення предмета кришталик витягується, стає менш опуклим, фокусна відстань його збільшується, так, щоб його зображення знову було на сітківці. Таким чином, завдяки акомодації людина добре бачить рівновіддалені предмети.

ВАДИ ЗОРУ ТА ЇХ КОРЕКЦІЯ.

Зображення предметів, які розглядає людина, потрапляє саме на сітківку ока за умови, коли вона має нормальний зір. Тобто очі людини з нормальним зором у ненапруженому стані збирають паралельні промені в точці, розміщеній на сітківці (рис. 19.2, а). Причому для нормального зору мінімальна відстань від очей до предмета, за якої око бачить деталі предмета не напружуючись, становить 25 см. Її називають відстанню найкращого зору. За інших відстаней до предмета око людини з нормальним зором напружується і стомлюється.

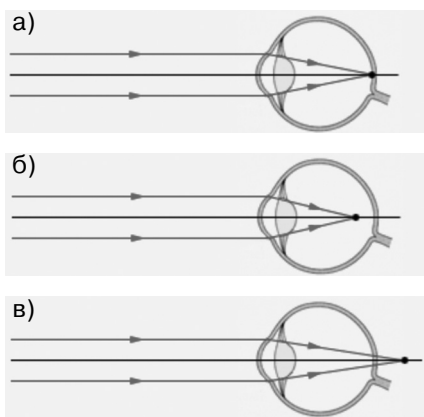


Рис. 19.2. Вади зору:

- а) у людини з нормальним зором паралельні промені збираються на сітківці;
- б) у короткозорної людини промені фокусуються всередині ока;
- в) у далекозорної людини промені фокусуються за сітківкою ока

Спробуємо розібратися, що відбувається, коли людина має вади зору. Найпоширенішими вадами зору є короткозорість та далекозорість.

Короткозорим є око, у якого фокус за спокійного стану очного м'яза перебуває всередині ока (рис. 19.2, б). Короткозорість може бути зумовлена значним віддаленням сітківки від кришталика порівняно з оком людини, що має нормальний зір. Якщо предмет розташований на відстані 25 см від короткозорого ока, то його зображення утворюється не на сітківці ока, як за нормального зору, а ближче до кришталика, перед сітківкою. Щоб зображення потрапляло на сітківку ока, необхідно наблизити предмет до ока. Тому в короткозорій людині відстань найкращого зору менша, ніж 25 см.

Далекозорим є око, у якого фокус у спокійному стані очних м'язів розміщений за сітківкою ока (рис. 19.2, в). Далекозорість може бути спричинена тим, що сітківка розташована ближче до кришталика порівняно з оком людини з нормальним зором. Зображення предметів людини з далекозорістю утворюється за сітківкою ока. Якщо предмет віддалити від ока, зображення потрапляє на сітківку, звідси і назва цієї вади зору — далекозорість.

Різниця у положеннях сітківки ока хоча б на 1 мм призводить до помітної короткозорості або далекозорості людини. Зазвичай люди, котрі мали в молодому віці нормальний зір, із часом стають далекозорими. Це пояснюється тим, що м'язи, які стискають кришталик, слабнуть, і здатність акомодатії погіршується: кришталик стає щільнішим і втрачає здатність стискатися. Тому зображення в оці далекозорої людини утворюється за сітківкою ока.

Короткозорість і далекозорість коригуються за допомогою лінз, винайдення яких розширило можливості людей, що мають вади зору. Спробуємо розібратися в тому, які лінзи можуть скоригувати ту чи іншу ваду зору.

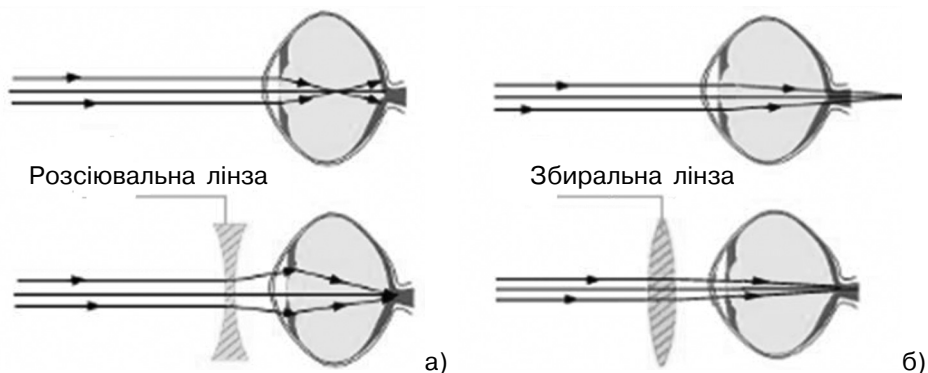


Рис. 19.3. Корекція вад зору:
а) корекція короткозорості; б) корекція далекозорості

Оскільки в оці короткозорної людини зображення утворюється перед сітківкою ока, то для того, щоб перемістити його на сітківку ока необхідно зменшити оптичну силу заломлюючої системи ока. Для цього використовують розсіювальну лінзу (рис. 19.3, а).

Оптичну силу системи далекозорного ока потрібно, навпаки, підсилити, щоб зображення перемістилося на сітківку. Для цього використовують збиральну лінзу (рис. 19.3, б).

Отже для корекції короткозорості застосовують окуляри з увігнутими (розсіювальними) лінзами. Якщо ж, наприклад, людина носить окуляри, оптична сила яких $-1,2$ дптр, -3 дптр, то, це означає, що вона є короткозорою.

В окулярах для далекозорих людей використовують опуклі, збиральні лінзи. Такі окуляри можуть мати оптичну силу, наприклад, $+1,2$ дптр, $+3$ дптр тощо.

! Головне в цьому параграфі

Оптична система ока складається з рогівки ока, передньої камери, заповненої прозорою рідиною, кришталіка, склоподібного тіла та сітківки ока. Щоб чітко бачити предмет, необхідно, аби оптична система ока сфокусувала промені, які надходять від предмета, на сітківці ока.

Прийняття ока до чіткого бачення предметів, розміщених на різній відстані від нього, називають акомодацією.

У людини з нормальним зором зображення предметів потрапляє на сітківку ока.

В оці короткозорної людини зображення утворюється перед сітківкою ока. Для корекції цієї вади зору використовують розсіювальні лінзи.

У далекозорної людини зображення утворюється за сітківкою ока. Для корекції цієї вади зору застосовують збиральні лінзи.

? Запитання для самоперевірки

1. Яку роль у створенні зорового образу відіграє оптична система ока людини?
2. Чому необхідно, щоб світлові промені, які поширюються від предмета, фокусувалися на сітківці ока?
3. Дайте характеристику зображення предмета на сітківці ока людини.
4. Що називають акомодацією? Поясніть, що відбувається під час цього процесу.
5. У чому суть вади зору «короткозорість»?
6. Де розміщується зображення предмета далекозорної людини?
7. Як, не торкаючись руками лінз окулярів, визначити, яку ваду зору має їх власник?

Вправа до § 19

- 1 (п). На рецепті окулярів написано: «+2,5 дптр». Для корекції якої вади зору призначені ці окуляри? Чому дорівнює фокусна відстань лінзи окулярів?
- 2 (с). Поясніть, чому молода людина з короткозорістю з віком може мати нормальний зір.
- 3 (д). Яку ваду зору має людина, якщо під водою вона бачить нормально? Відповідь поясніть.
- 4 (в). Учень читає книжку, тримаючи її на відстані 20 см від очей. Яку ваду зору має учень? Визначте оптичну силу лінз, необхідних йому для того, щоб тримати книжку на відстані найкращого зору для людини з нормальним зором.
- 5 (в). Далекозора людина читає без окулярів, тримаючи книгу на відстані 50 см від очей. Чому дорівнює оптична сила окулярів, потрібних їй для читання?

§ 20. Найпростіші оптичні прилади

- Оптичні прилади для спостереження дрібних об'єктів
- Оптичні прилади для спостереження віддалених об'єктів
- Прилади для фіксації зображень

ОПТИЧНІ ПРИЛАДИ ДЛЯ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ДРІБНИХ ОБ'ЄКТІВ. Для того, щоб більш зручно розглядати дрібні деталі певного предмета або ж предмети, які розташовані далеко від спостерігача, використовують оптичні прилади. Будова і принципи дії оптичних приладів базуються на законах геометричної оптики.

За призначенням оптичні прилади, які озброюють око людини,

можна поділити на дві групи: прилади, які призначені для спостереження дрібних об'єктів (лупи, мікроскопи); прилади для спостереження далеких об'єктів (зорові труби, телескопи тощо). Оптичні прилади, що озброюють око людини, дають уявне зображення предмета. Кожен із таких оптичних приладів має свою характеристику — **кутове збільшення**.

Одним із простих оптичних приладів є лупа — збиральна лінза або система лінз з малою фокусною відстанню (зазвичай не



а)



б)

Рис. 20.1. Оптичні прилади для спостереження дрібних об'єктів:
а) лупа; б) мікроскоп

більше 10 см). Лупу розміщують близько від ока, а предмет розташовують у її фокальній площині. У цьому випадку промені від точок об'єкта будуть паралельними і на сітківці ока, майже без його напруження, утворюється чітке зображення точок предмета.

Лінза з великою оптичною силою має бути дуже опуклою, що призводить до зменшення її геометричних розмірів та ускладнює використання, тому лупи зі збільшенням понад 40 разів зазвичай не застосовують.

Якщо необхідно одержати збільшення більше, ніж може дати лупа, використовують мікроскопи. Мікроскоп складається з двох або більше лінз. Лінзу, розташовану ближче до предмета, називають об'єктивом. Дійсне, збільшене зображення предмета, створене об'єктивом, розглядають крізь окуляр. У результаті загальне збільшення виходить досить великим.

ОПТИЧНІ ПРИЛАДИ ДЛЯ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ВІДДАЛЕНИХ ОБ'ЄКТІВ. Для спостереження об'єктів для яких ми не можемо наблизитися використовують прилади, які називають зоровими трубами. Зоровими трубами є підзорні (далекоглядні) труби, біноклі, телескопи та інші більш спеціальні прилади.

Перша зорова труба була винайдена Галілеєм в 1609 р. (рис. 20.2). Окуляром у його зоровій трубі була розсіювальна лінза. Промені, пройшовши крізь трубу, створювали уявне, пряме, збільшене зображення предмета. За допомогою своєї зорової труби з 30 кратним збільшенням Галілей зробив ряд астрономічних відкриттів: виявив гори на Місяці, плями на Сонці, відкрив чотири супутники Юпітера, фази Венери, встановив, що Чумацький Шлях складається з великої кількості зірок.

Одним із поширених приладів є зорова труба Кеплера, винайдена ним у 1630 р. Зорова труба Кеплера складається з двох збиральних лінз. За допомогою об'єктива зорової труби одержують зображення предмета поблизу ока. Після цього зображення предмета розглядають в окуляр як у лупу (рис. 20.3, а).

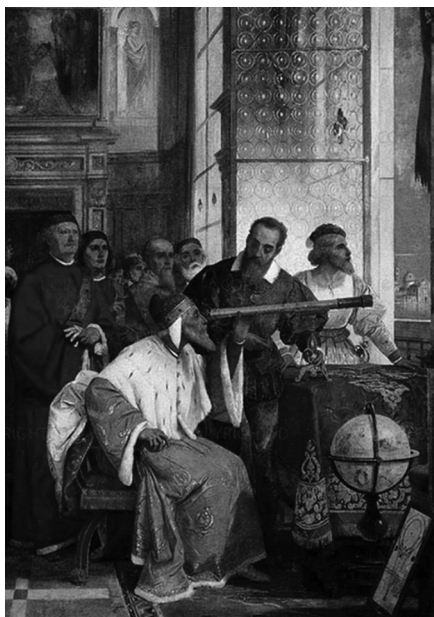


Рис. 20.2. Труба Галілея



Рис. 20.3. Прилади для спостереження віддалених об'єктів:

а) зорова труба; б) бінокль; в) телескоп

Дві зорові труби, з'єднані разом для спостереження предмета обома очима, називають біноклем (рис. 20.3, б).

Велику зорову трубу для спостереження небесних об'єктів називають телескопом (рис. 20.3, в). Збільшення великих телескопів перевищує 500 завдяки великій фокусній відстані об'єктива. За допомогою телескопа можна розрізнити на Місяці предмети менші від 1 м, а на Марсі — близько 100 м. За допомогою телескопів можна спостерігати дуже слабкі або віддалені зорі, а також зоряні скупчення — позагалактичні туманності.

ПРИЛАДИ ДЛЯ ФІКСАЦІЇ ЗОБРАЖЕННЯ. Для фіксації дійсного зображення предметів використовують фотоапарати або фотокамери. На відміну від лупи, мікроскопа, зорової труби та телескопа, фотоапарат (фотокамера) дають дійсні зображення. Розглянемо детальніше будову та принцип дії цифрового фотоапарата (камери) (рис. 20.4).

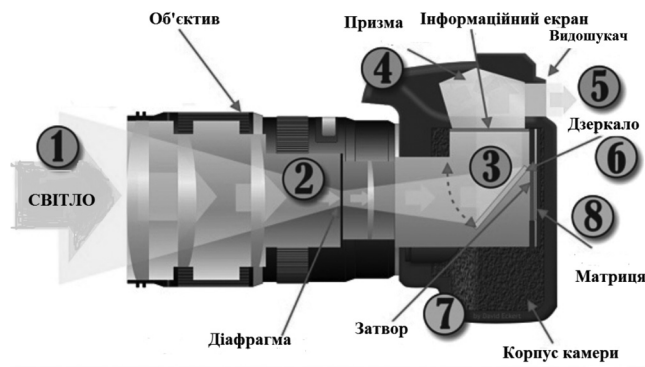


Рис. 20.4. Будова цифрового фотоапарата

Світло від Сонця або штучного джерела 1 спочатку відбивається від предметів, які перебувають перед об'єктивом фотокамери, а потім проходить через об'єktiv 2, затвор 7. Затвор — це складний механізм, який керує тривалістю проходження світла через об'єktiv. Після затвора світловий сигнал потрапляє на чутливий елемент, розташований на задній стінці корпусу фотокамери, —

матрицю 8. Цей чутливий елемент є датчиком зображення. Він складається з мільйонів окремих світлочутливих пікселів, що перетворюють світловий сигнал в електричний.

Паралельно з цим процесом у дзеркальній фотокамері, до натискання на кнопку спуску затвора, світло, яке відбиває дзеркало 3, проходить крізь призму 4 і потрапляє у видошукач 5, який дає можливість бачити зображення в момент його зйомки. Коли відбувається зйомка, дзеркало піднімається і світло потрапляє на матрицю (у деяких моделях дзеркало нерухоме й напівпрозоре).

Інформація, отримана датчиком зображення, обробляється процесором, формуються файли даних зображення та записуються на носій інформації (карту для зберігання цифрових зображень) (рис. 20.5).

Весь цей процес відбувається досить швидко. Після його завершення фотокамера готується до експонування наступного зображення.



а)



б)



в)



г)

Рис. 20.5. Деякі елементи цифрового фотоапарата (камери):

- а) об'єктив; б) видошукач; в) датчик зображення;
г) носій цифрової інформації

! Головне в цьому параграфі

Оптичні прилади призначені для того, щоб зручніше розглядати дрібні деталі певного предмета або предмети, розташовані далеко від спостерігача.

Оптичні прилади, які озброюють око людини дають уявне зображення предмета. Їх можна поділити на дві групи: прилади, які призначені для спостереження дрібних об'єктів (лупи, мікроскопи); прилади для спостереження далеких об'єктів (зорові труби, телескопи тощо).

Фотоапарат і фотокамера призначені для фіксації зображення предметів. На відміну від лупи, мікроскопа, зорової труби та телескопа, вони дають дійсні зображення предметів.

? Запитання для самоперевірки

1. Поясніть, для чого призначені зорові труби.
2. Поясніть будову та принцип дії зорової труби.
3. Назвіть недоліки зорової труби.
4. Для чого призначений мікроскоп?
5. Розкрийте призначення телескопа.

Вправа до § 20

- 1 (с). За допомогою рисунку поясніть принцип дії лупи.
- 2 (д). Юний винахідник спробував зробити мікроскоп з двох однакових збиральних лінз з фокусною відстанню F . Він розмістив ці лінзи на відстані $3,5 F$ одну від одної, а предмет висотою h — на відстані $1,5 F$ від першої лінзи (об'єктива). За допомогою рис. 20.6 встановіть розмір зображення предмета, що дає цей саморобний мікроскоп? Дайте характеристику цього зображення (пряме чи обернене, дійсне чи уявне, збільшене чи зменшене)?
- 3 (д). Обчисліть оптичну силу лупи, яка збільшує розміри предмета у 8 разів.
- 4 (в). Зорова труба, об'єктив якої налаштовано на спостереження Місяця має фокусну $F = 30$ см. Визначте, в який бік і на скільки потрібно перемістити окуляр, щоб за допомогою труби можна було роздивлятися предмет, розміщений на відстані $d = 10$ м від об'єктива?

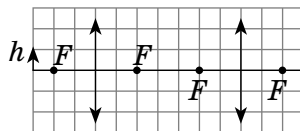


Рис. 20.6.
До завдання 2

Головне в розділі 2

Світло — особливий вид випромінювання, що здатне викликати зорові відчуття.

Джерелами світла називають тіла, що створюють світлове випромінювання.

Приймачі світла — тіла, на які падає світло і внаслідок цього в них відбуваються певні зміни.

Закон прямолінійного поширення світла: світло в прозорому однорідному середовищі поширюється прямолінійно.

Точковим джерелом світла називають світне тіло, розміри якого значно менші порівняно з відстанями, на яких оцінюється його дія.

Закони відбивання світла:

1. Падаючий промінь, відбитий промінь та перпендикуляр, проведений у точці падіння до поверхні відбивання, лежать в одній площині.

2. Кут падіння дорівнює куту відбивання.

Закони заломлення світла:

1. Падаючий промінь, заломлений промінь та перпендикуляр, проведений до поверхні розподілу двох середовищ у точці падіння, лежать в одній площині.

2. Відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення є величина стала для двох даних середовищ:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n.$$

Лінзою називають прозоре тіло, обмежене двома сферичними поверхнями.

Оптичною силою лінзи називають величину, обернену її фокусній відстані:

$$D = \frac{1}{F}.$$

Одиницею оптичної сили лінзи є діоптрія, яку скорочено позначають дптр:

$$[D] = \text{дптр}.$$

Формула тонкої лінзи: $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$, де F — фокусна відстань лінзи; d — відстань від предмета до лінзи; f — відстань від зображення предмета до лінзи.

**Вчимося розв'язувати фізичні задачі
з розділу «Світлові явища»**

Одним із перших законів, розглянутих у цьому розділі, є закон прямолінійного поширення світла. Для успішного розв'язування задач з використанням цього закону потрібно пригадати особливості подібних трикутників, з якими ви ознайомилися, вивчаючи геометрію.

Задача 1. Сонячним ранком людина на зріст 180 см відкидає тінь довжиною 4,5 м, а дерево — тінь довжиною 30 м. Обчисліть висоту дерева.

Розв'язок

Нехай висота дерева H , людини h , відповідно довжини тіней дерева L і людини — l .

Оскільки кути падіння променів на людину і дерево однакові, утворені трикутники (предмет — тінь — промінь) подібні. З подібності трикутників можна записати:

$$\frac{H}{h} = \frac{L}{l} \Rightarrow H = h \cdot \frac{L}{l} = 1,8 \cdot \frac{30}{4,5} = 12 \text{ м}.$$

Відповідь: висота дерева 12 м.

Розглянемо декілька задач на закони відбивання світла.

Задача 2. Визначити мінімальну висоту дзеркала, за допомогою якого людина могла б себе побачити в ньому на повний зріст.

Розв'язок

Умовно зобразимо людину стрілкою BA . У точці C — очі людини. Введемо позначення $AB = L$, $AC = l$, MN — високе плоске дзеркало (див. рисунок до задачі).

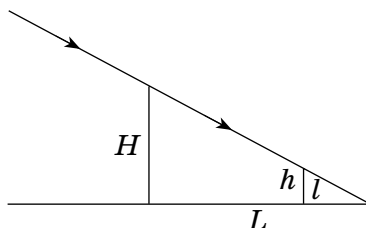


Рисунок до задачі 1

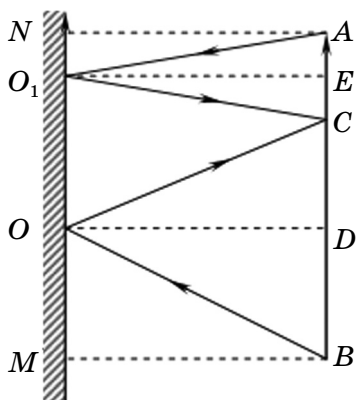


Рисунок до задачі 2

лі, висота дзеркала повинна дорівнювати половині зросту людини.

Відповідь: мінімальна висота дзеркала дорівнює половині зросту людини.

Задача 3. Плоске дзеркало повернули на кут $\alpha = 17^\circ$ навколо осі, яка лежить у площині дзеркала. На який кут β повернувся відбитий промінь, якщо напрям падаючого променя залишився незмінним?

Розв'язок

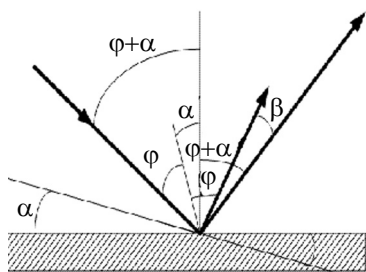


Рисунок до задачі 3

Нехай φ — початковий кут падіння променя. За законом відбивання кут відбивання також дорівнює φ , і, отже, кут між падаючим і відбитим променями дорівнює 2φ . Коли дзеркало повернути на кут α , то перпендикуляр до дзеркала, проведений у точку падіння, також повернеться на кут α . Тому новий кут падіння дорівнюватиме $\varphi + \alpha$. Таким самим буде і новий кут відбивання. Тому кут між падаючим і відбитим променями дорівнюватиме $2(\varphi + \alpha)$, тобто зміниться порівняно з попереднім на 2α . Отже, відбитий промінь повернеться на кут $\beta = 2\alpha = 34^\circ$.

Відповідь: ще одними важливими законами цього розділу є закони заломлення світла.

Задача 4. На розсіювальну лінзу падає збіжний пучок променів (див. рисунок до задачі). Після заломлення в лінзі промені перетинаються в точці, розташованій на відстані a від лінзи. Якщо лінзу забрати, то точка перетинання променів переміститься ближче до місця, де перебувала лінза, на відстань b . Визначте фокусну відстань лінзи.

Розв'язок

Скористаємося оборотністю світлових променів. Тоді точка S_1 відіграє роль джерела світла, а точка S — роль уявного зображення. З огляду на те, що f необхідно брати зі знаком «-», оскільки зображення є уявним, запишемо формулу тонкої лінзи:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}, \text{ або } F = \frac{df}{f-d}.$$

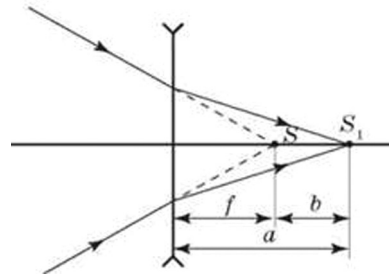


Рисунок до задачі 4

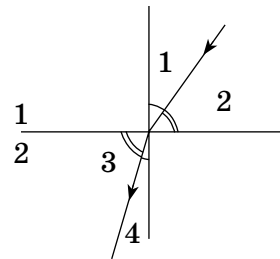
З рисунка видно, що $d = a$, $f = a - b$, отже, $F = \frac{a(a-b)}{(-b)} = \frac{a(b-a)}{b}$.

Оскільки за умовою завдання $b < a$, то вираз $(b - a) < 0$, тому фокус на відстань лінзи $F < 0$, що відповідає розсіювальній лінзі.

Відповідь: $F = \frac{a(b-a)}{b}$.

Виявляємо предметну компетентність із розділу «Світлові явища»

- 1 (п).** На рисунку показано світловий промінь, який переходить із середовища 1 в середовище 2. Який із кутів є кутом падіння?



А. 1 Б. 2 В. 3 Г. 4

- 2 (п).** За умовою попередньої задачі порівняйте швидкості світла в середовищах 1 і 2.

Рис. до задачі 1

А. $v_1 > v_2$

Б. $v_1 < v_2$

В. $v_1 = v_2$

Г. Швидкість світла однакова для всіх середовищ.

- 3 (п).** На рисунку показано хід світлового променя, що падає на лінзу паралельно головній оптичній осі. Оберіть рисунки, на яких правильно показано подальший хід променя після заломлення його лінзою.

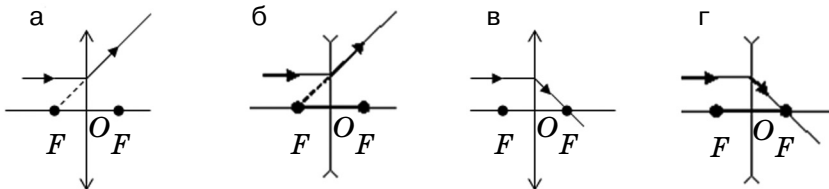


Рисунок до задачі 3

А. а) та г) **Б.** б) та в) **В.** в) та г) **Г.** б) та г)

- 4 (п).** Лінію, що з'єднує центри сферичних поверхонь, які обмежують поверхню лінзи, називають:
- А.** Фокальною площиною.
 - Б.** Головною оптичною віссю.
 - В.** Побічною оптичною віссю.
 - Г.** Фокусом лінзи.

- 5 (с).** Вкажіть рисунок, на якому правильно вказано хід променя, що падає на плоско-паралельну скляну пластину.

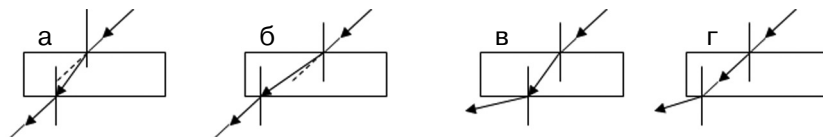


Рисунок до задачі 5

- А.** а) **Б.** б) **В.** в) **Г.** г)
- 6 (с).** Предмет, що був на відстані 40 см від плоского дзеркала, перемістили на 20 см далі від дзеркала. Виберіть правильне твердження.
- А.** Відстань між предметом та його зображенням стане 40 см.
 - Б.** Відстань від зображення до дзеркала стане 20 см.
 - В.** Відстань від предмета до зображення зменшиться на 20 см.
 - Г.** Відстань від предмета до зображення стане 120 см.
- 7 (с).** Промінь світла падає з повітря в воду. Визначте швидкість світла воді.
- А.** $3,2 \cdot 10^8$ м/с **Б.** $1,3 \cdot 10^8$ м/с **В.** $2,3 \cdot 10^8$ м/с **Г.** $3 \cdot 10^8$ м/с
- 8 (с).** Визначте, як зміниться кут між падаючим та відбитим променями, якщо дзеркало повернути за проти годинникової стрілки на 20° , а положення падаючого променя при цьому не зміниться?
- А.** Зменшиться на 20° .
 - Б.** Збільшиться на 20° .
 - В.** Збільшиться на 40° .
 - Г.** Зменшиться на 40° .
- 9 (с).** Установіть відповідність між положенням предмета та характеристикою зображення, що утворюється у збиральній лінзі.
- | | |
|----------------------------------|---|
| Предмет міститься між O і F | А. Уявне, зменшене, пряме |
| Предмет міститься між F і $2F$ | Б. Уявне, збільшене, пряме |
| Предмет міститься у $2F$ | В. Дійсне, зменшене, обернене |
| Предмет міститься у $3F$ | Г. Дійсне, рівне за розмірами предмету, обернене |
| | Д. Дійсне, збільшене, обернене. |
- 10 (д).** Швидкість поширення світла у першому середовищі дорівнює $2,25 \cdot 10^8$ м/с, а у другому — $2,52 \cdot 10^8$ м/с. Установіть відповідність між фізичною величиною та її числовим значенням.

Показник заломлення першого середовища відносно вакууму **А.** 1,5
 Показник заломлення другого середовища відносно вакууму **Б.** 0,89
 Показник заломлення першого середовища відносно другого **В.** 1,33
 Показник заломлення другого середовища відносно першого **Г.** 1,12
Д. 1,19

- 11 (д).** Предмет розташовано перед збиральною лінзою на відстані d . Визначте відстані f між лінзою та зображенням предмета. Розташуйте відстані d (положення предмета) в порядку збільшення відповідних їм f (відстані між лінзою та зображенням).

1. $d = 0,5F$
2. $d = 1,5F$
3. $d = 2F$
4. $d = 4F$

- 12 (д).** Точкове джерело світла освітлює кульку діаметром 10 см, розташовану на відстані 1,5 м від джерела. Визначте відстань від кульки до екрана, якщо діаметр тіні на екрані становить 20 см.

- 13 (д).** На рисунку зображено світну точку A і її зображення в лінзі A_1 та головну оптичну вісь. Визначте побудову положення площини лінзи, її фокусів та вид лінзи (рисунок).

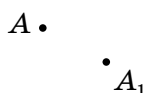


Рисунок до задачі 13

- 14 (в).** Визначити відстань від дерева заввишки 4,8 м, на якій хлопець зростом 160 см має покласти плоске дзеркало, щоб побачити в ньому верхівку цього дерева. Відстань від дерева до хлопчика 3 м.
- 15 (в).** На збиральну лінзу з фокусною відстанню $F_1 = 40$ см падає пучок паралельних променів. На якій відстані від неї необхідно помістити розсіювальну лінзу з фокусною відстанню $F_2 = 15$ см, щоб пучок променів після заломлення був паралельним? Відповідь поясніть за допомогою малюнка.

Розділ 3

МЕХАНІЧНІ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ

У 7-му класі ви розглядали механічні коливання, які залежно від фізичної природи та механізму збудження поділяють на механічні (коливання маятників, струн, частин машин і механізмів, мостів, повітря тощо) та електромагнітні (коливання змінного струму в електричній мережі, магнітного та електричного полів тощо).

Так само, як і коливання, хвилі поділяють на два основні види: механічні та електромагнітні. Механічні хвилі поширюються в речовині: газі, рідині або твердому тілі. Електромагнітні — не потребують наявності певної речовини для поширення (радіохвилі, світло та ін.). Відкриття електромагнітних хвиль дало можливість створити принципово нові засоби комунікацій — від бездротового телеграфу, радіо й телебачення до супутникового та стільникового зв'язку.

Незважаючи на істотну відмінність механічних та електромагнітних хвиль, у процесі поширення вони виявляють подібні властивості та описуються кількісно однаковими законами. У цьому розділі висвітлено основні закономірності виникнення та поширення хвильових процесів, наведено приклади їх застосування до пояснення багатьох явищ, які ви спостерігаєте й сприймаєте повсякчас.

§ 21. Хвильові явища в природі та техніці

- ▶ Джерела та механізм поширення механічних хвиль
- ▶ Основні характеристики хвиль

ДЖЕРЕЛА ТА МЕХАНІЗМ ПОШИРЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХВИЛЬ. Однією з найпоширеніших форм руху в навколишньому світі та техніці є коливання. Якщо спостерігати за хитанням на хвилях корабля, розгойдуванням гілок і стовбурів дерев або ж колосків хлібної ниви, рухом маятника годинника, поршнів та шатунів двигуна, голки швейної машини тощо, то помітимо одну важливу закономірність — багаторазове повторення однакового динамічного циклу (рис. 21.1).

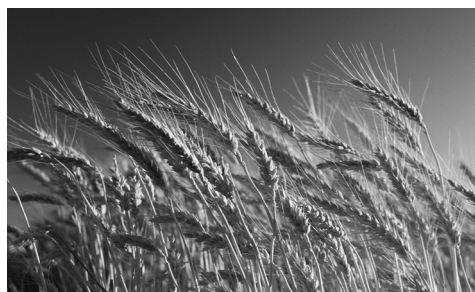


Рис. 21.1. Механічні коливання

Коливання — це будь-який процес, що повторюється в часі.

Коливання властиві всім явищам природи — пульсує випромінювання зірок, всередині яких відбуваються термоядерні реакції, земна кора інколи здійснює сейсмічні коливання, рух Місяця зумовлює припливи та відпливи тощо. Вітер викликає коливання і хвилі на поверхнях водоймищ. Всередині будь-якого живого організму повсякчас відбуваються різноманітні процеси, які ритмічно повторюються (биття серця, коливання психічних станів, біоритми тощо).

У техніці коливання або виконують певні функції (колесо, маятник, коливальний контур, генератор та інші конструкції й прилади), або виникають як прояви фізичних навантажень (вібрації машин та споруд, нестійкість і вихрові потоки під час руху тіл в газах тощо).

Виділяють два основні види коливань — вільні та вимушені.

Вільними (власними) коливаннями системи називають такі коливання, які відбуваються за відсутності зовнішнього впливу.

Вільні коливання виникають унаслідок виведення системи з положення рівноваги. Оскільки в реальних системах завжди діють сили тертя, то вільні коливання, як правило, є затухаючими.

Вимушені коливання — це коливання, що виникають у будь-якій системі під впливом змінної зовнішньої дії.

Коливальний рух, як і будь-який інший, характеризують такі фізичні величини, як координата (зміщення), швидкість, час тощо. Якщо значення фізичних величин, якими описується коливальна система, змінюються через однакові проміжки часу, такі коливання називають *періодичними*.

Періодичні коливання характеризуються амплітудою, періодом, частотою, швидкістю тощо.

Амплітуда коливань — це максимальне зміщення від положення рівноваги:

$$A = x_{\max}.$$

Амплітуда вільних коливань визначається початковими умовами, тобто енергією, яка була надана тілу. Одиницею вимірювання зміщення та амплітуди коливань у СІ є метр (м).

Період коливань — це проміжок часу, за який тіло здійснює одне повне коливання:

$$T = \frac{t}{N},$$

де t — час; N — число повних коливань. Одиниця виміру періоду коливань у СІ — секунда (с).

Частота коливань — це фізична величина, яка дорівнює кількості повних коливань, здійснених за одиницю часу:

$$\nu = \frac{N}{t}.$$

Одиниця частоти в СІ — герц (Гц). 1 Гц — це частота коливань, у процесі яких тіло за 1 с здійснює одне повне коливання.

Частота і період коливань пов'язані співвідношенням:

$$\nu = \frac{1}{T}.$$

Коливання, збуджені в пружному середовищі, із часом передаються в інші його частини. Так, від каменя, кинутого в спокійну воду озера, колами розходяться хвилі, які згодом досягають берега. Коливання серця можна відчувати на зап'ясті, що використовується під час визначення пульсу.

Наведені приклади пов'язані з явищем поширення механічних коливань у середовищі.

Механічною хвилею називається процес поширення коливань у пружному середовищі з часом, що супроводжується передачею енергії від однієї його точки до іншої.

Наприклад, якщо взяти довгу мотузку, один кінець якого закріпити, а другому надати періодичного руху, то коливання поступово передаватимуться іншим частинам каната — вздовж нього поширюватиметься хвиля (рис. 21.2).

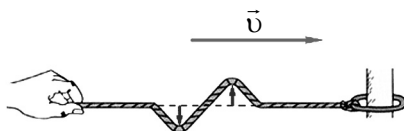


Рис. 21.2. Поширення хвилі вздовж мотузки

Коливання, спричинені в будь-якому місці середовища, поширюються з певною швидкістю, що залежить від його густини та пружних властивостей.

Джерелом механічної хвилі є коливне тіло, що передає частину власної енергії навколишньому середовищу. Якщо джерело хвиль перебуває в суцільному середовищі, що займає досить велику частину простору (твердому тілі, рідині або газі), точки якого між собою пружно зв'язані, то збудження коливань навколо нього зумовлює вимушені коливання сусідніх частинок, ті — наступних тощо.

Отже, будь-які хвилі мають початок — джерело. Їх частота дорівнює частоті коливань джерела.

Частинки середовища, в якому поширюється хвиля, не переносяться разом із нею, а лише здійснюють коливання навколо положень рівноваги. Від частинки до частинки передаються лише його енергія. Тому *основною властивістю будь-яких хвиль незалежно від їхньої природи є перенесення енергії без переміщення речовини.*

ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХВИЛЬ. Припустимо, що точка, від якої поширюються коливання (джерело), перебуває в суцільному середовищі. Коливання від неї поширюються в усі боки. Хвилі подібно до коливань характеризуються певними фізичними величинами. Розглянувши рух будь-якої частинки середовища, де поширюється хвиля, можна зазначити, що вона здійснює періодичні коливання, тобто через певний проміжок часу коливання частинки повністю повторюються (рис. 21.3).

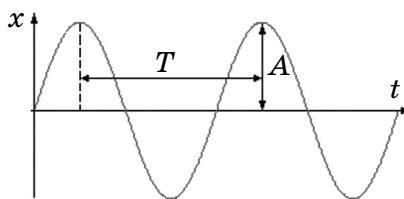


Рис. 21.3. Повторення параметрів коливань через період

Період хвилі позначають літерою T та вимірюють у *секундах*.

Однією з характеристик хвилі є її **частота** ν — **кількість повних коливань джерела хвилі за одиницю часу**. Частота вимірюється в *герцах*. Частота й період пов'язані співвідношенням:

$$\nu = \frac{1}{T}.$$

Якщо зафіксувати певний момент часу, то через деяку відстань форма хвилі повторюється. Цю відстань називають довжиною хвилі та позначають λ .

Довжина хвилі — відстань, на яку поширюється хвиля за один період.

Довжину хвилі визначають за формулою: $\lambda = \nu T$, де ν — швидкість її поширення; T — період коливань джерела.

Частинки, розташовані на відстані довжини хвилі, коливаються синхронно. Тому довжина хвилі характеризує її періодичність у просторі (рис. 21.4).

В однорідному середовищі хвиля поширюється рівномірно й прямолінійно з певною швидкістю. Після того як одній частинці було надано коливального руху, інші починають зміщуватися не відразу, а за певний проміжок часу.

Швидкість поширення хвилі в будь-якому середовищі є постійною величиною. Під час виникнення хвиль їхня частота визначається частотою коливань джерела, а швидкість залежить від властивостей середовища. Тому хвилі однієї і тієї самої частоти мають неоднакову довжину в різних середовищах.

Швидкість поширення хвилі в середовищі обчислюють за формулою:

$$v = \frac{S}{t},$$

де S — відстань, на яку поширюється хвиля; t — час.

Якщо час дорівнює періоду коливань ($t = T$), то відстань, на яку пошириться хвиля, дорівнює її довжині ($S = \lambda$). Тоді швидкість поширення хвилі визначається як:

$$v = \frac{\lambda}{T}.$$

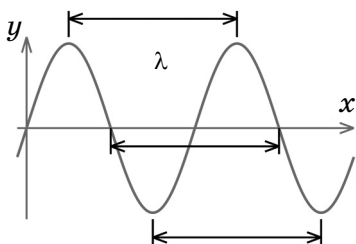


Рис. 21.4. Повторення параметрів коливань на відстані довжини хвилі

Ця формула пов'язує два роди періодичності хвилі, у часі та просторі. Зважаючи на те, що:

$$v = \frac{1}{T},$$

де v — частота коливань джерела, формулу хвилі можна записати як:

$$v = \lambda v.$$

Швидкість поширення хвилі переважно визначається пружними властивостями середовища, тому, якщо вона переходить з одного середовища в інше, то швидкість її поширення змінюється. Частота коливань частинок у хвилі визначається частотою коливань джерела, тому залишається незмінною. Отже, під час переходу хвилі з одного середовища в інше змінюється її довжина.

! Головне в цьому параграфі

Механічна хвиля — процес поширення коливань у пружному середовищі з плином часу.

Хвиля поширюється в просторі не миттєво, а з певною швидкістю.

Під час поширення хвиль речовина не переноситься, а передається лише енергія від однієї частини середовища до іншої.

Частота хвилі v — кількість повних коливань джерела за одиницю часу. Частота й період хвилі пов'язані співвідношенням:

$$v = \frac{1}{T}.$$

Довжина хвилі λ — це відстань, на яку поширюється хвиля за один період: $\lambda = vT$.

Швидкість поширення хвилі в середовищі обчислюють за формулою:

$$v = \frac{S}{t},$$

де S — відстань, на яку пошириться хвиля, t — час.

Якщо час дорівнює періоду коливань ($t = T$), то відстань, на яку пошириться хвиля, дорівнює її довжині ($S = \lambda$). Тоді швидкість поширення

хвилі визначається як: $v = \frac{\lambda}{T}$.

? Запитання для самоперевірки

1. Що таке механічні хвилі?
2. Яка довжина хвилі однієї й тієї самої частоти в різних середовищах?
3. Чому хвилі переносять енергію?
4. Що називають довжиною хвилі? Частотою?
5. Від чого залежить швидкість поширення хвилі у пружному середовищі?

Вправа до § 21

- 1 (п). Які з наведених нижче рухів є механічними коливаннями:
 - а) рух гойдалки;
 - б) рух м'яча, що падає на землю;
 - в) рух струни гітари під час її звучання?
- 2 (п). Вкажіть, які хвилі, поздовжні чи поперечні, виникають у кожному випадку:
 - а) у струнах під час гри на гітарі;
 - б) у повітряному стовпі всередині духової труби;
 - в) на поверхні води, якщо вдарити по ній долонею?
- 3 (с). Поплавок, що коливається на воді, занурюється й спливає шість разів за три секунди. Визначте період і частоту його коливань.
- 4 (с). Гілка, що коливається від вітру, кожні чотири секунди вдаряється в шибку. Визначте період і частоту її коливань.
- 5 (с). Плавучий буй за 45 с піднявся на гребнях хвиль 15 разів. Визначте їхню швидкість, якщо відстань між сусідніми гребенями становить 3 м.
- 6 (д). Період коливань крилець джмеля становить 5 мс. Частота коливань крилець комара — 600 Гц. Яка з комах здійснює більше змахів крилами за 1 хв і наскільки?
- 7 (в). Повз нерухомого спостерігача, що стоїть на березі, за 6 с пройшло 4 гребені хвиль. Відстань між першим і четвертим гребенем — 12 м. Визначте період коливань частинок води, швидкість і довжину хвилі.
- 8 (в). Підводний човен сплив на відстані 100 м від берега, спричинивши хвилі на поверхні води. Вони дійшли до берега за 20 с, причому за наступні 15 с було 30 сплесків об берег. Яка відстань між гребенями сусідніх хвиль?

§ 22. Звукові хвилі та їхні властивості

- Джерела звуку. Поширення звукових хвиль у різних середовищах
- Швидкість поширення, довжина і частота звукової хвилі

ДЖЕРЕЛА ЗВУКУ. ПОШИРЕННЯ ЗВУКОВИХ ХВИЛЬ У РІЗНИХ СЕРЕДОВИЩАХ. Людина живе у світі звуків, який необхідний для нормального розвитку й існування. Звуки, які ви чуєте, повідомляють про те, що відбувається навколо, навіть якщо не видно джерела.

За допомогою звуків можна спілкуватися, насолоджуватися мелодіями, впізнавати за голосом знайомих. Світ навколишніх звуків різноманітний і складний, однак у ньому досить легко орієнтуватися й ви безпомилково відрізняєте спів птахів від шуму міської вулиці.

Поняття «звук» можна розглядати і як фізичне явище — поширення поздовжніх коливань у пружному середовищі, і як фізіологічне — специфічне відчуття, викликане дією звукових хвиль на орган слуху людини (рис. 22.1).

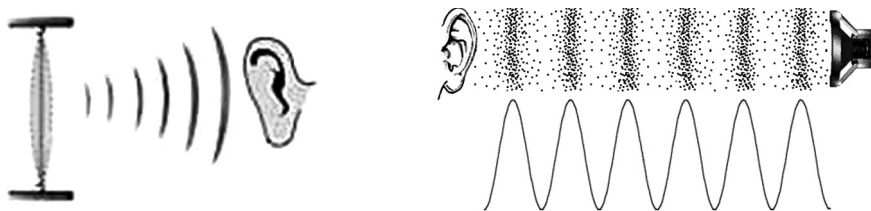


Рис. 22.1. Сприйняття звуку

Розділ фізики, в якому вивчаються звукові явища, називається акустикою. Звукові хвилі класифікуються за частотою: інфразвук ($\nu < 16$ Гц); звук, який чує людина ($16 \text{ Гц} < \nu < 20\,000 \text{ Гц}$); ультразвук ($\nu > 20\,000 \text{ Гц}$); звук надвисокої частоти ($10^9 \text{ Гц} < \nu < 10^{12} - 10^{13} \text{ Гц}$) (рис. 22.2).

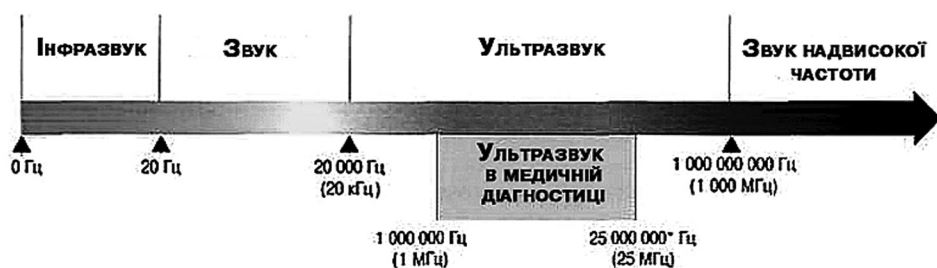


Рис. 22.2. Шкала звукових хвиль

Багато тварин можуть відчувати ультразвукові коливання. Наприклад, собаки сприймають звуки частотою до $50\,000 \text{ Гц}$, а кажани — до $100\,000 \text{ Гц}$.

Будь-яке коливне тіло може бути причиною виникнення пружних хвиль у середовищі, що його оточує, тобто джерелом звуку (струна скрипки, мембрана, дифузор, металева пластинка, бджола, стовп повітря в трубі тощо). Звукові хвилі виникають завдяки пружним зв'язкам між частинками (молекулами та атомами) середовища, в якому перебуває джерело.

Механічні вібрації джерела звуку зумовлюють коливання найближчих до нього частинок пружного середовища, що призводить до його періодичного стискання або розрідження.

Розглянемо особливості поширення звуку в різних середовищах. Найчастіше звукові хвилі досягають людського вуха повітрям. Також вони можуть поширюватися у воді й твердих тілах.

Встановити експериментально, чи передаватиметься звук у вакуумі, вперше вдалося в 1660 р. Робертові Бойлю. З цією метою він використав вакуумний насос, винайдений у 1657 р. і побудований разом із Робертом Гуком. Відкачуючи повітря з-під його ковпака, можна переконатися, що звуку будильника не чути (рис. 22.3).

Для поширення звукових хвиль потрібна наявність певного середовища. Космос, на відміну від океану, — царство абсолютної тиші.



Рис. 22.3. Звукові хвилі у безповітряному просторі не поширюються

ШВИДКІСТЬ ПОШИРЕННЯ, ДОВЖИНА І ЧАСТОТА ЗВУКОВОЇ ХВИЛІ. Звукові хвилі характеризуються кінцевою швидкістю поширення. Життєвий досвід переконує, що різні тверді тіла передають звук по-різному. Наприклад, дерево, метали добре проводять звук, а пористі й м'які тіла — ні.

Уперше швидкість поширення звуку в повітрі визначив у 1640 р. французький фізик Марен Мерсенн. Він вимірював інтервал часу між моментами виникнення спалаху й звуку під час рушничного пострілу. М. Мерсенн визначив, що швидкість звуку в повітрі дорівнює 414 м/с.

У 1822 р. Д. Араго, Г. Проні та Ж. Гей-Люссак дослідним шляхом встановили, що у повітрі при температурі 10 °С швидкість поширення звуку становить 337,2 м/с. Швидкість звуку в повітрі не залежить від його густини. Вона приблизно дорівнює середній швидкості теплового руху молекул. Чим більша маса молекул газу, тим менша швидкість звуку. Так, при 10 °С швидкість звуку у водні становить 1270 м/с, а у вуглекислому газі — 258 м/с.

У воді швидкість звуку більша, ніж у повітрі. Уперше її було виміряно на Женевському озері у Швейцарії. На одному човні підпалювали порох і одночасно вдарили в підводний дзвін. Інший перебував на відстані 14 км від першого. Звук приймався за допомогою опущеного у воду рупора (рис. 22.4).

За різницею часу між спалахом світла й надходженням звукового сигналу визначалася його швидкість. При температурі води 8 °С вона становить 1435 м/с.

У твердих тілах швидкість звуку ще більша, ніж у рідинах. Наприклад, у сталі при 15 °С вона становить 4980 м/с. Якщо вдарити по одному кінцю рейки й прикласти вухо до другого, то почуємо два удари. Спочатку звук досягає вуха металом, а потім повітрям.

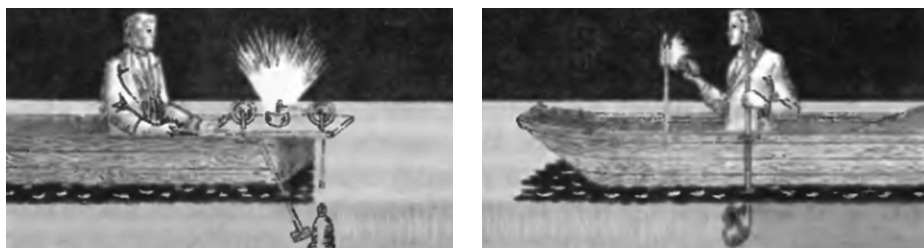


Рис. 22.4. Вимірювання швидкості звуку

Швидкість звуку залежить також від температури середовища: з її підвищенням вона зростає, зі зниженням — зменшується. Наприклад, швидкість звуку в повітрі при температурі $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ становить 333 м/с , а при $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ збільшується до 350 м/с .

Врахувавши, що

$$v = \frac{1}{T},$$

де v — частота коливань, запишемо формулу $v = \lambda \nu$. Знаючи частоту коливань і швидкість звуку можна обчислити довжину звукової хвилі.

Довжина найдовшої хвилі, що сприймається вухом людини, становить приблизно 17 м , а найкоротшої — $1,7\text{ мм}$.

На поширення звукових хвиль впливає неоднорідний характер атмосфери. Швидкість звуку залежить від температури, вологості повітря, сили вітру та ін. Звукові хвилі відбиваються на межі двох середовищ, у яких рухаються з різними швидкостями.

Можна спостерігати відбивання звуків від хмар і динамічної границі туману. Відомо, що звуки швидше поширюються за вітром, ніж проти нього.

Неоднорідністю атмосфери пояснюється утворення «зон мовчання», що спостерігаються під час поширення на великі відстані гучних звуків, наприклад вибухів. Вибух чутний на порівняно близьких та далеких відстанях (сотні кілометрів), посередині ж його не чути.

! Головне в цьому параграфі

Звуком називають коливання, які сприймаються органами слуху людини. Розрізняють акустичні (фізичні) та фізіологічні характеристики звуку.

Розділ фізики, в якому вивчаються звукові явища, називається акустикою. Звукові хвилі класифікуються за частотою: інфразвук ($\nu < 16\text{ Гц}$); звук, який чує людина ($16\text{ Гц} < \nu < 20\,000\text{ Гц}$); ультразвук ($\nu > 20\,000\text{ Гц}$); звук надвисокої частоти ($10^9\text{ Гц} < \nu < 10^{12}\text{—}10^{13}\text{ Гц}$).

У безповітряному просторі звукові хвилі поширюватися не можуть. Для їх поширення потрібне певне середовище.

Звукові хвилі характеризуються кінцевою швидкістю поширення, яка пов'язана з їх довжиною співвідношенням:

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (v = \lambda \nu).$$

Швидкість поширення звуку в газах, рідинах і твердих тілах — різна. У твердих тілах вона більша, ніж у рідинах та газах.

? Запитання для самоперевірки

1. Що таке звук? Яка фізична природа звуку?
2. Чи можуть звуки поширюватися у безповітряному просторі?
3. Наведіть приклади джерел і приймачів звуку.
4. Яку загальну властивість мають джерела звуку?
5. Як звук передається від джерела до приймача?
6. Назвіть основні характеристики звуку.
7. Який діапазон звукових частот сприймає людина?
8. Від чого залежить швидкість поширення звуку?

Вправа до § 22

- 1 (п). Спостерігаючи здалеку за рухами людини, яка працює молотком, можна помітити, що звук надходить до нас не під час удару, а коли людина піднімає руку. Як це пояснити?
- 2 (п). Чи можна на Землі почути гуркіт від падіння метеорита на Місяці?
- 3 (п). Чому космонавти, що перебувають у відкритому космосі, не чують один одного, хоча в скафандрах є повітря?
- 4 (с). Під час грози звук грому надходить через 8 с після спалаху блискавки. На якій відстані відбувається гроза? Швидкість звуку в повітрі становить 340 м/с.
- 5 (с). Визначте швидкість звуку у воді, якщо коливання з періодом $T = 0,005$ с викликають звукову хвилю довжиною $\lambda = 7,175$ м.
- 6 (д). На відстані 1068 м від спостерігача вдаряють молотком по залізничній рейці. Спостерігач, приклавши до неї вухо, почув звук на 3 с раніше, ніж він надійшов повітрям. Визначте швидкість поширення звуку в сталі, якщо в повітрі вона становить 335 м/с.
- 7 (д). Відстань між двома залізничними станціями 8,3 км. За який час звук поширюється від однієї станції до іншої повітрям і сталевими рейками? (Швидкість звуку у сталі визначте з попередньої задачі.)
- 8 (в). Людина бачить, як важкий камінь падає на бетонний тротуар. За певний час вона чує два звуки від удару: перший надійшов повітрям, другий — бетоном. Інтервал часу між ними — 1,2 с. На якій відстані впав камінь, якщо швидкість звуку в бетоні становить 4500 м/с?

§ 23. Гучність звуку та висота тону

- *Музичні звуки й шуми. Гучність звуку і висота тону*
- *Відбивання звуку. Луна*

МУЗИЧНІ ЗВУКИ Й ШУМИ. ГУЧНІСТЬ ЗВУКУ І ВИСОТА ТОНУ.

Звуки, які ви чуєте щодня, дуже різноманітні. Людина здатна чітко відрізнити музичні звуки від шумів. До перших, наприклад, належать спів, звучання натягнутих струн музичних інструментів, свист тощо (рис. 23.1).

Шуми виникають під час вибухів, грози, роботи двигунів внутрішнього згоряння, рику тигра, скрипу дверних петель тощо.

Чіткої межі між музичними звуками й шумами немає. Зіпсований музичний інструмент створює хриплі звуки, схожі на шум. Водночас певну мелодійність можна виявити в шумі дощу або завиванні вітру.

Чим музичні звуки відрізняються від шумів?

Чистий музичний звук можна одержати за допомогою простого приладу, що називається камертоном. На рис. 23.2 зображено камертони, закріплені на дерев'яній підставці у формі ящика, відкритого з одного боку.

Ударивши молоточком по одній із його ніжок, почуємо музичний звук. Поступово він слабшає внаслідок затухання коливань. Звукова хвиля збуджується коливанням ніжок камертона.



Рис. 23.1.
Музичні інструменти

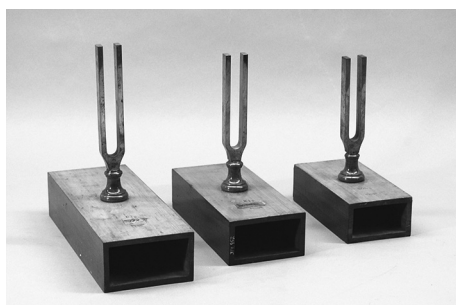
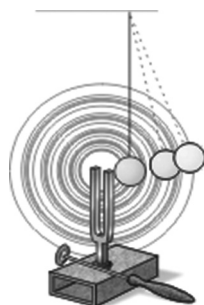


Рис. 23.2. Камертони



Рівень інтенсивності звуку визначають за шкалою, одиницею якої є бел (Б). 1 Б — найслабший звук, який сприймає людське вухо. Ця одиниця названа в честь винахідника телефону Олек-

сандра Белла. У фізиці й техніці рівень інтенсивності зручніше вимірювати в децибелах (дБ).

Поїзд метро створює звук, рівень інтенсивності якого становить 100 дБ, потужні підсилювачі — 120 дБ, а реактивний літак — 150 дБ. Тим, хто працює в умовах шуму понад 100 дБ, слід користуватися навушниками.

Фізичним параметрам звуку відповідають певні суб'єктивні характеристики, пов'язані з конкретною людиною. Це зумовлено тим, що сприймання звуку — процес не лише фізичний, а й фізіологічний. Вуха відчуває звукові коливання певної частоти та інтенсивності по-різному, залежно від індивідуальних особливостей людини.

Основними фізіологічними характеристиками звуку є гучність, висота тону й тембр. Чим сильніший удар молоточка по камертону, тим голосніше він звучить. А потужний удар викликає коливання великої амплітуди. Отже, гучність будь-якого звуку залежить від амплітуди коливань.

Гучність (рівень чутності) визначається як інтенсивністю звуку (амплітудою коливань), так і різною чутливістю людського вуха. Найбільшу чутливість воно має в діапазоні частот від 1000 до 5000 Гц.

Зі збільшенням інтенсивності в 10 разів рівень гучності підвищується на 10 дБ. Наприклад, звук 50 дБ виявляється в 100 разів інтенсивнішим звуку 30 дБ.

Висота тону — це суб'єктивна характеристика якості звуку. Вона залежить від частоти звукових коливань. Чим більша частота коливань, тим вищий тон.

Музичні звуки, що мають однакову частоту й гучність, відрізняються специфічним відтінком. Музиканти цю особливу якість звуку називають **тембром**. За тембром легко відрізнити звуки скрипки та рояля, флейти й гітари, голоси людей.

Шум відрізняється від музичного звуку тим, що йому не відповідає певна частота коливань і, отже, висота тону. У шумі наявні коливання будь-яких частот (рис. 23.3).

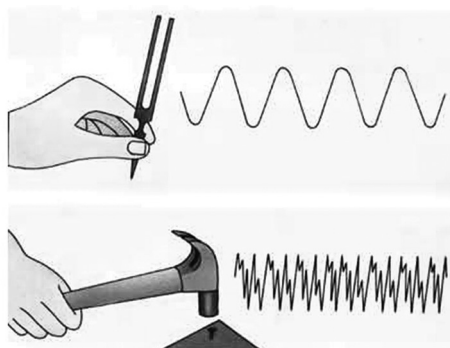


Рис. 23.3. Музичні звуки і шуми

Із розвитком промисловості й сучасного швидкісного транспорту виникла нова проблема — «шумове забруднення» середовища. Шум, особливо великої інтенсивності не просто набридає й стомлює — він негативно впливає на здоров'я (рис. 23.4).

Інтенсивність шуму (дБ)



















	80	90	90	95	100
Небезпечний рівень					
	100	105	110	110	110
Больовий поріг					
	112	112	120	120	130
					
	130	140	170	Смертельний рівень	200
					

Рис. 23.4. Джерела шуму та їх вплив на організм людини

Саме тому в містах заборонено користуватися автомобільними сигналами, над ними не здійснюються польоти літаків тощо. Боротися з шумами можна й за допомогою технічних пристроїв. Наприклад, автомобілі, трактори й мотоцикли оснащені глушниками. На шляху вихлопних газів споруджують складний металевий лабіринт із перетинками й отворами, у якому звукова хвиля втрачає енергію.

ВІДБИВАННЯ ЗВУКУ. ЛУНА. Звук, поширюючись у будь-якому середовищі, доходить до перешкоди й майже повністю відбивається. Оскільки звукова хвиля є поздовжньою, то, передаючись від одного шару молекул повітря до іншого, згущення досягає перешкоди й, одержавши поштовх, утворює зворотну хвилю (рис. 23.5).

Плоскі тверді поверхні відбивають близько 95 % звуку (наприклад, товста гранітна плита — 99 %), а частина енергії звукової хвилі витрачається на нагрівання перешкоди.

Цікаво, що людське вухо здатне сприймати відбитий звук окремо від початкового лише тоді, коли проміжок часу між ними не менше 1 с. Відомо, що таке звукове явище називається луною.

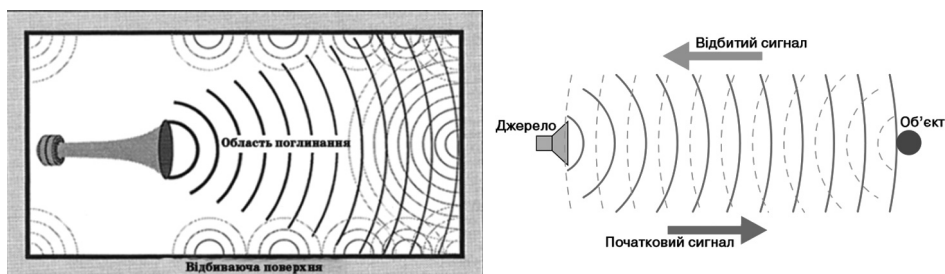


Рис. 23.5. Відбивання звуку

Луна — звук, що надходить до джерела, відбившись від перешкоди.

Звукові хвилі відбиваються від різних перешкод, навіть хмар. Луну можна почути в горах, великих пустих приміщеннях, на маршових майданчиках тощо. Багаторазова луна виникає тоді, коли звукові хвилі послідовно відбиваються від кількох перешкод.

Властивість відбиватися від дзеркальних поверхонь покладено в основу підсилювача звуку. У рупорі (конусоподібній трубі круглого або прямокутного перерізу) хвилі не розсіюються, а утворюють вузькоспрямований пучок, збільшуючи гучність звуку (рис. 23.6).

На виникнення луни впливають відстань між джерелом звуку й перешкодою, її розміри, форма поверхні та речовина, з якої вона утворена.

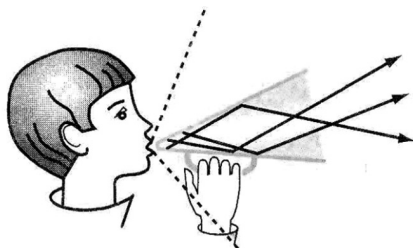


Рис. 23.6. Поширення звукових хвиль у рупорі

Явища відбивання й поглинання звукових хвиль відіграють особливу роль під час поширення звуків у замкнених приміщеннях. У процесі проектування аудиторій, концертних залів, театрів важливо враховувати можливість багаторазових відбиттів звукових хвиль від стін, стелі тощо. Нині розвивається особлива галузь техніки — архітектурна акустика.

! Головне в цьому параграфі

Чистий музичний звук можна одержати за допомогою камертона.

Шуму не відповідає певна частота коливань і, отже, висота звуку.

До фізичних параметрів звуку належать частота та інтенсивність, його фізіологічними характеристиками є висота, гучність і тембр.

Гучність (рівень чутності) визначається як інтенсивністю звуку (амплітудою коливань), так і різною чутливістю людського вуха. Найбільшу чутливість воно має в діапазоні частот від 1000 до 5000 Гц.

Висота тону — це суб'єктивна характеристика якості звуку. Вона залежить від частоти звукових коливань. Чим більша частота коливань, тим вищий тон.

За тембром легко відрізнити звуки скрипки й роялю, флейти й гітари, голоси людей.

Луна — звук, що надходить до джерела, відбившись від перешкоди.

? Запитання для самоперевірки

1. Назвіть основні характеристики звуку.
2. Який діапазон звукових частот сприймає вухо людини?
3. Як залежить висота звуку від частоти?
4. Від чого залежить гучність звуку?
5. Що таке музичний звук?
6. Чим шум відрізняється від музичного звуку?
7. Охарактеризуйте джерела шуму та їхній вплив на організм людини.
8. Що таке луна?

Вправа до § 23

- 1 (п). Чому продавець під час продажу порцелянового або скляного посуду, легенько постукує по ньому?
- 2 (п). Назвіть пристрої й інструменти, що породжують музичні звуки та шуми.
- 3 (п). Чому телеграфні стовпи «гудуть» у вітряну погоду?
- 4 (с). Водії оцінюють тиск повітря у балоні колеса автомашини за звуком, який виникає під час удару по балону металевим предметом. Як залежить звук від тиску повітря в балоні?
- 5 (с). Вузли стоячої хвилі, створеної камертоном у повітрі, розташовані один від одного на відстані 40 см. Визначте частоту коливань, якщо швидкість звуку в повітрі становить 340 м/с.
- 6 (д). Через який час людина почує луну, якщо відстань до перешкоди 170 м, а швидкість звуку в повітрі дорівнює 340 м/с?
- 7 (в). Звукові коливання поширюються у воді із швидкістю 1480 м/с, а в повітрі — 340 м/с. У скільки разів зміниться довжина звукової хвилі під час переходу звуку з повітря у воду?

§ 24. Інфра- й ультразвуки та їх використання

- Інфразвук та його практичне використання
- Ультразвук у природі та техніці
- Вплив вібрацій і шумів на живі організми

ІНФРАЗВУК ТА ЙОГО ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ. Людське вухо сприймає звук частотою від 20 до 20 000 Гц. Звукові коливання з частотою, меншою 20 Гц, називають інфразвуком,

більшою ніж 20 000 Гц — ультразвуком, а високочастотні пружні хвилі у діапазоні 10^9 — 10^{13} Гц — гіперзвуком.

Інфразвук — пружні хвилі, що поширюються в рідинах, газах та твердих тілах, частота яких нижча 20 Гц.

Фізична природа інфра- й ультразвуку та звуку чутного діапазонів однакова. Їх умовний поділ пояснюється лише особливостями сприйняття слуховим аналізатором людини. Інфразвуку практично нечутно. Його особливістю є здатність поширюватися на значні відстані без істотної втрати енергії, долати або огинати перешкоди, створювати вібрацію масивних механізмів тощо. Фізичні властивості інфразвукових коливань зумовлені їхньою низькою частотою і великою довжиною хвиль.

Інфразвуки виникають унаслідок обдування вітром будівель, дерев, під час роботи промислових установок і транспортних засобів, грозових розрядів, вибухів бомб, пострілів гармат. У середовищі інфразвук майже не поглинається. Тому такі хвилі поширюються на десятки тисяч кілометрів, що використовується, наприклад, у сейсмології.

Інфразвук у природі виникає майже завжди під час небезпечних або катастрофічних подій: торнадо, цунамі, ураганів тощо. У земній корі спостерігаються коливання та вібрації інфразвукових частот, спричинені обвалами, землетрусами, вулканічними виверженнями тощо. Ймовірно, у процесі природного добору в людей і тварин з'явилася здатність відчувати подібні сигнали тривоги. Наприклад, риби й інші морські організми відчують наближення шторму або циклону, сприймаючи інфразвукові хвилі, створювані ураганними вихорами, що дає змогу їм заздалегідь відпливти в безпечне місце. Якщо шторм розпочинається за сотні кілометрів від берега, то він досягне суші майже через добу, а медузи відчують його наближення миттєво й відпливають на глибину. Вони здатні сприймати інфразвуки частотою 8—13 Гц.

До об'єктів, що створюють інфразвукові коливання, належать автомобільний і водний транспорт, конверторні й мартенівські цехи металургійного виробництва, компресорні, газопередавальні станції, портові крани тощо.

Наприкінці 60-х років XX ст. французький дослідник Володимир Гавро виявив, що інфразвук певної частоти викликає в людини тривогу і занепокоєння, головні болі, зниження уваги та працездатності. Результати всебічного вивчення біологічної дії інфразвуку свідчать про те, що залежно від частоти й рівня звукового тиску він негативно впливає на функціональний стан організму, несприятливо діючи на нервову, серцево-судинну системи, функцію дихання, роботу слухового та вестибулярного аналізаторів. Внаслідок тривалої дії низькочастотних коливань у людини спостерігається слабкість, виникають роздратування та погіршення сну й навіть порушення психіки (рис. 24.1).



Рис. 24.1. Вплив інфразвуку на організм людини

Найефективнішим і практично єдиним засобом боротьби з дією інфразвуку є зниження його потужності в джерелі. Наприклад, у технічних пристроях із плоскими поверхнями великої площі виникають сприятливі умови для генерації інфразвуку. Тому у виробничих конструкціях перевага надається малогабаритним механізмам.

Як індивідуальні засоби захисту рекомендується застосовувати навушники, що захищають вухо від несприятливої дії шумів.

УЛЬТРАЗВУК У ПРИРОДІ ТА ТЕХНІЦІ. Ультразвуком називають пружні механічні коливання і хвилі з частотами, більшими ніж 20 кГц. Їхня верхня межа визначається міжмолекулярними відстанями і тому залежить від агрегатного стану речовини, де поширюється хвиля. Завдяки малій довжині ультразвукової хвилі, так само, як і світло, можна генерувати у вигляді вузькоспрямованих пучків, що поширюються майже без втрат на великі відстані. Відбивання таких хвиль на межі поділу двох середовищ відбувається за законами геометричної оптики, а швидкість поширення та поглинання істотно залежить від їхніх властивостей.

Нині ультразвук — це не просто позначення височастотної області акустичних хвиль, а окремий науковий напрям освітніх галузей фізики та біології, з яким пов'язані промислові, інформаційні та вимірювальні технології.

Широке застосування ультразвуку зумовлено тим, що будь-які зміни в середовищі, крізь яке проходить хвиля, призводять до зміни швидкості її поширення, поглинання, відбивання та заломлення на межі поділу середовищ.

Ультразвуки використовуються в ехолокації (від нім. *echo* — відлуння і лат. *locatio* — розміщення), наприклад, із метою вивчення рельєфу морського дна, визначення типів ґрунтів, стратифікації донного осаду, дослідження звукорозсіювальних шарів, спрямованої підводної сигналізації, виявлення затоплених предметів, вимірювання глибин та здійснення інших гідроакустичних розвідок (рис. 24.2).

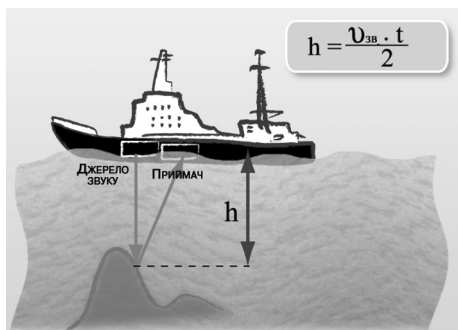


Рис. 24.2. Дослідження морського дна й вимірювання глибини



Рис. 24.3. Монітор ехолота

Ехолотація — випромінювання й сприйняття відбитих, як правило, високочастотних, звукових сигналів із метою виявлення об'єктів у просторі, а також отримання інформації про їх властивості та розміри.

Явище ехолотації покладено в основу дії ехолота.

Ехолот — навігаційний прилад автоматичного вимірювання глибини водоймищ за допомогою гідроакустичних сигналів.

Відбитий від дна акустичний імпульс приймається вібратором, який перетворює його в електричний. Після підсилення сигнал подається на індикатор глибини, де відображається проміжок часу в секундах між моментами його надсилання й повернення в ехокамеру, і перетворюється у візуальну інформацію — запис глибини:

$$h = \frac{v_{зв} t}{2},$$

де швидкість звуку $v_{зв} = 1500$ м/с. Тривалість імпульсів частотою 10—200 кГц становить 0,05—20 мс.

Ехолотація у тварин (рис. 24.3) — один зі способів орієнтації в просторі. Вона особливо розвинена в кажанів і дельфінів, виявлена у землерийок, різних видів ластоногих (тюлені), птахів (гуахаро, салангани та ін.) і ґрунтується на випромінюванні ультразвукових імпульсів частотою до 130—200 кГц тривалістю від 0,2 до 4—5 мс. У дельфінів і кажанів, окрім загальної орієнтації, ехолотація є засобом визначення просторового положення об'єктів та їх розмірів, пошуку здобичі тощо.

Птахи, що живуть у темних печерах, використовують ехолотацію з метою орієнтації в темноті. Мурахи також випромінюють

ультразвукові сигнали низьких частот, які можна поділити на три групи: «сигнали небезпеки», «агресії» і «харчовий сигнал».

Явище ультразвуку застосовують із метою впливу на технологічні процеси (кристалізацію, дифузію, тепло- і масообмін у металургії тощо), вивчення фізичних властивостей речовин (структури, поглинання, розсіювання тощо), біологічні об'єкти (підвищення інтенсивності процесів обміну), прискорення швидкості хімічних реакцій.

Ультразвук великої потужності спричиняє загибель вірусів і бактерій, що використовується під час стерилізації приміщень.

Ультразвук застосовується також у медицині (діагностика, ультразвукова хірургія, мікромасаж тканин) та ін. Він є джерелом інформації про стан внутрішніх органів людини. Робота серця, легенів тощо супроводжується звуковими явищами певної частоти. Знаючи, якими мають бути звуки під час оптимального функціонування органів і тканин, можна визначити характер їх захворювання або пошкодження.

Зміну швидкості й поглинання ультразвуку в людських органах і тканинах, а також відбивання на межі кількох середовищ покладено в основу ультразвукового дослідження (УЗД) (рис. 24.4).

Сучасними прикладами УЗД у медицині є ультразвукова ехоенцефалографія — діагностування пухлин та запалень головного мозку, кардіографія — дослідження динаміки серцевої діяльності, голографія — отримання тривимірних зображень біооб'єктів із використанням накладання ультразвукових променів тощо.

Ультразвуки великої інтенсивності застосовуються в стоматології (зняття зубних каменів, просвердлювання каналів тощо).

Механічні та теплові ефекти, що виникають під дією ультразвуку на різні біологічні тканини, покладено в основу методу ультразвукової фізіотерапії.



Рис. 24.4. Метод ультразвукового дослідження (УЗД)

ВПЛИВ ВІБРАЦІЙ І ШУМІВ НА ЖИВІ ОРГАНІЗМИ. Поруч із шумом досить часто спостерігається явище вібрації. Шум і вібрація відрізняються між собою частотою коливань.

Вібрація — рух матеріальної точки або механічної системи, під час якого почергово зростають і спадають із часом значення амплітуди, частоти, швидкості тощо.

Вібрація проявляється у вигляді механічних коливань пружних тіл.

Залежно від параметрів вібрація може як позитивно, так і негативно впливати на окремі тканини та організм людини. Було встановлено також, що помірна вібрація покращує живлення тканин і прискорює загоєння ран. Корисна вібрація використовується в техніці, наприклад, під час вібраційного транспортування, вібробуріння тощо.

Шкідлива вібрація, що має складний неперіодичний характер у різних частотних інтервалах (наприклад, під час роботи двигунів), може призвести до порушення режиму функціонування машин або їх руйнування. Високоінтенсивні виробничі шуми є шкідливими для людини.

Виробнича вібрація, що характеризується значною амплітудою і тривалістю, спричиняє в робітників дратівливість, безсоння, головний біль тощо.

Для боротьби зі шкідливою вібрацією застосовують віброізоляцію. На промислових підприємствах нормується вібраційна швидкість механізмів, яка при частотах 16, 32, 63, 250 Гц має відповідати 0,0015, 0,0022, 0,0027, 0,0035 м/с. Виникненню вібрацій запобігають, установлюючи механізми на спеціальні фундаменти, які не пов'язані з будівлею. З метою віброізоляції застосовують прокладки з гуми, пробки, дерева, пружини, а також сайлентблоки.

! Головне в цьому параграфі

Звукові хвилі з частотою, вищою від звукового діапазону, називають ультразвуком, із нижчою — інфразвуком.

Ультразвук та інфразвук, шум і вібрація мають практичне застосування, справляють корисні й шкідливі впливи на людину.

Залежно від частоти й рівня звукового тиску інфразвук негативно впливає на функціональний стан організму, несприятливо діючи на нервову, серцево-судинну системи, функцію дихання, роботу слухового та вестибулярного аналізаторів.

Ультразвуки широко використовуються в ехолокації, на виробництві, у медицині.

Шум і вібрація різняться між собою частотою коливань. Залежно від параметрів вібрація може як позитивно, так і негативно впливати на організм людини.

? Запитання для самоперевірки

1. Наведіть приклади джерел інфразвукових хвиль.
2. Наведіть приклади використання ультразвукових хвиль представниками тваринного світу.

3. Розкажіть про властивості інфра- й ультразвуку та їх практичне використання.
4. У чому полягає шкідлива дія на людський організм ультразвуку, інфразвуку, шумів, вібрацій?
5. У яких галузях виробництва застосовується ультразвук?
6. Де в медицині використовують ультразвук?
7. Який принцип дії ехолота?
8. Як можна усунути або суттєво зменшити вібрацію?

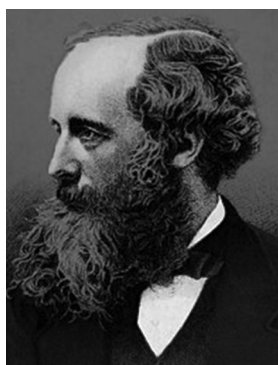
Вправа до § 24

- 1 (п). Чому комара в польоті чути, а метелика — ні?
- 2 (п). Біля злітно-посадкових смуг аеропортів можна побачити великі бетонні, пластикові або металеві щити — шумозахисні екрани. Яке їх призначення?
- 3 (с). Шкідливими для людини є інфразвуки з частотою 5—8 Гц. Якою є їхня довжина, якщо швидкість звуку в повітрі становить 340 м/с?
- 4 (с). Система «звуколокації» кажанів настільки досконала, що вони здатні відчувати порух плавників дрібної риби, які виступають лише на 2 мм над поверхнею води. З якою точністю кажани мають визначати час між випромінюванням ультразвукового імпульсу та його відбиттям? Швидкість ультразвуку в повітрі дорівнює 340 м/с.
- 5 (с). Дельфін випромінює короткі імпульси ультразвуку, проміжок часу між якими становить 200 мс. На якій максимальній відстані від нього у воді перебуває перешкода? Швидкість звуку у воді становить 1435 м/с.
- 6 (д). Визначте глибину моря, якщо ультразвуковий імпульс повернувся на судно через 0,2 с після випромінювання. Швидкість ультразвуку в морській воді становить 1435 м/с.
- 7 (д). Луна, зумовлена рушничним пострілом, надійшла до стрільця через 4 с після пострілу. На якій відстані від нього перебуває перешкода? Швидкість звуку в повітрі дорівнює 340 м/с.
- 8 (в). Наявність порожнин у сталевій деталі можна виявити за допомогою ультразвукового дефектоскопа. Перший звуковий сигнал було отримано через 180 мкс після відправлення, а другий — через 60 мкс. Яка висота деталі? На якій глибині виявлено дефект? Швидкість ультразвуку в сталі дорівнює 5000 м/с.
- 9 (в). Із гвинтівки здійснено постріл по мішені, розташованій на відстані 1020 м. Швидкість, із якою куля наближається до неї, дорівнює 850 м/с. На скільки раніше куля влучить у мішень, ніж до неї долине звук пострілу? Швидкість звуку в повітрі становить 340 м/с.

§ 25. Електромагнітні хвилі та їх властивості

- ▶ *Електромагнітне поле та електромагнітні хвилі*
- ▶ *Властивості електромагнітних хвиль*
- ▶ *Шкала електромагнітних хвиль*

ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ПОЛЕ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ. З попереднього розділу підручника ви дізналися, що електричні й магнітні явища є невідокремлюваними одні від одних. Експериментальні дослідження Г. Ерстеда та М. Фарадея довели органічний зв'язок електричних і магнітних полів.



Джеймс Клерк
Максвелл
(1831—1879),
шотландський учений,
який створив теорію
електромагнітного
поля

Дж. Максвелл розвинув уявлення М. Фарадея про електромагнітну індукцію, довівши, що електричне поле може виникати в довільній частині простору, де існує змінне магнітне поле (незалежно від наявності провідників). У середині 60-х років XIX ст. він висунув гіпотезу, що існує і зворотний процес — змінне електричне поле зумовлює появу змінного магнітного.

Індукційне електричне поле, що виникає під час зміни магнітного, має зовсім іншу структуру, ніж кулонівське електростатичне. Воно не пов'язане з будь-якими зарядженими частинками. Тому його силові лінії не мають ні початку, ні кінця і становлять певні замкнені криві, схожі на лінії магнітного поля. Подібні поля називають вихровими. Наявність у ньому провідника лише сприяє виявленню такого поля.

Після відкриття взаємозв'язку між електричним і магнітним полями було встановлено їх невідокремлюваність одне від одного. Не можна створити змінне магнітне поле без того, щоб одночасно в просторі не виникло електричне поле. І навпаки, змінне електричне поле не може існувати без магнітного.

Отже, і електричне, і магнітне поле є проявом єдиного електромагнітного поля. Електромагнітне поле матеріальне, воно існує незалежно від наших знань про нього.

Сукупність нерозривно взаємопов'язаних періодично змінних електричного і магнітного полів називають електромагнітним полем.

Електричне поле утворюється зарядженими тілами, а магнітне — оточує провідники зі струмом. Якщо електричні заряди нерухомі або рухаються рівномірно, то й створювані відповідні магнітні поля не змінюються. В обох випадках електромагнітна хвиля виникнути не може.

Якщо заряди змінюють швидкість, то навколо провідника створюється змінне магнітне, яке породжує вихрове електричне поле. Останнє знову зумовлює виникнення змінного магнітного поля вже на більшій відстані від зарядженої частинки. У просторі навколо провідника утворюються взаємозалежні електричні й магнітні поля, які поширюються із часом у вигляді хвилі (рис. 25.1).



Генріх Рудольф Герц (1857—1894), німецький учений, який уперше отримав електромагнітні хвилі

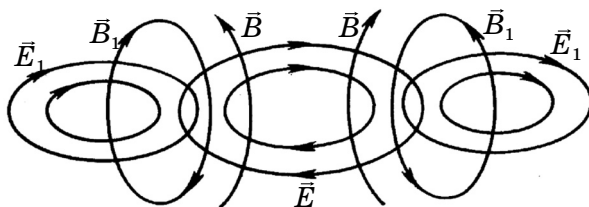


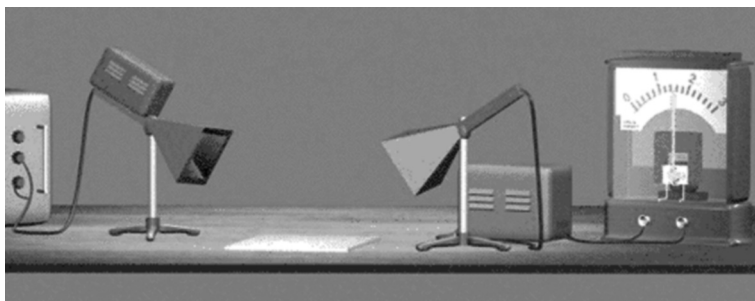
Рис. 25.1. Поширення електромагнітного поля в просторі

Процес поширення змінного електромагнітного поля в просторі з часом називають електромагнітною хвилею.

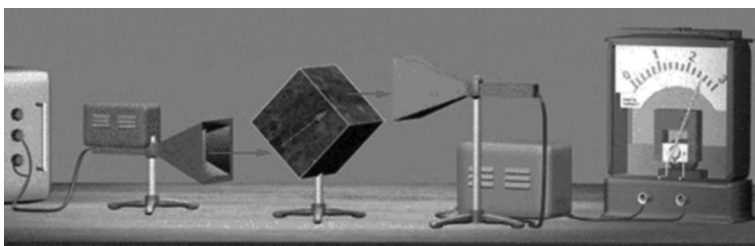
На відміну від звукових хвиль, які поширюються лише в молекулярному середовищі, електромагнітні — згідно з теорією Максвелла можуть поширюватися й у вакуумі.

Електромагнітні хвилі вперше експериментально виявив у 1887 р. німецький учений Г. Герц.

ВЛАСТИВОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ. Г. Герц отримав електромагнітні хвилі й зумів відтворити загальні особливості, притаманні відомим на той час хвильовим явищам: утворення «тіні» за металевими предметами, відбивання від твердих поверхонь (рис. 25.2, а), заломлення великою пластмасовою призмою (рис. 25.2, б), утворення стоячої хвилі в результаті накладання падаючої хвилі та відбитої від листа металу.



а)



б)

Рис. 25.2. Відбиття й заломлення електромагнітних хвиль

Було досліджено також взаємозв'язок між векторами напруженості \vec{E} й індукції \vec{B} . З'ясувалося, що електромагнітні хвилі мають такі самі властивості, що й світлові (рівномірно й прямолінійно поширюються, відбиваються, заломлюються, фокусуються, поглинаються, накладаються, поляризуються тощо).

Швидкість поширення електромагнітних хвиль \vec{v} , напруженість \vec{E} електричного й індукція \vec{B} магнітного полів взаємно перпендикулярні (рис. 25.3).

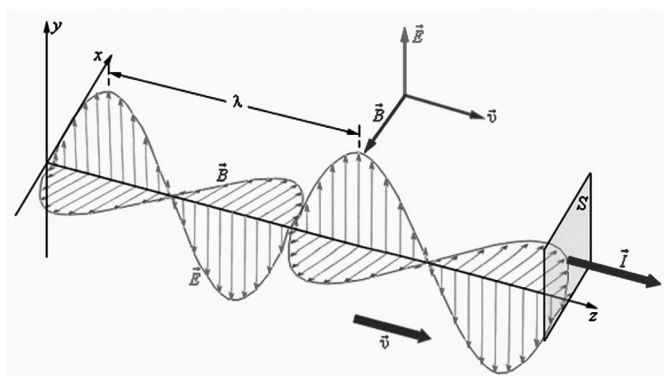


Рис. 25.3. Напрямок поширення електромагнітної хвилі

Модулі цих векторів одночасно досягають максимальних і мінімальних значень, тобто коливаються синхронно.

Відстань, на яку поширюється електромагнітна хвиля за один період, тобто найменша відстань між двома її точками, в яких вектори напруженості \vec{E} й індукції \vec{B} коливаються синхронно, називають довжиною електромагнітної хвилі й позначають λ .

У дослідах Г. Герца довжина хвилі становила кілька десятків сантиметрів. Обчисливши власну частоту коливань вібратора, він зміг визначити швидкість електромагнітної хвилі за аналогією з механічними: $v = \lambda \nu = \frac{\lambda}{T}$, де ν — частота; λ — довжина; T — період коливань. Вона виявилася такою, що дорівнювала $3 \cdot 10^8$ м/с.

Якщо електромагнітне поле утворюється в певній обмеженій частині простору, то, як доводить дослід, воно поширюється з кінцевою швидкістю, яка у вакуумі збігається зі швидкістю світла.

Тому було зроблено припущення, що світло — це також електромагнітна хвиля високої частоти. Швидкість її поширення у вакуумі є максимально (гранично) досяжною величиною. У будь-якій речовині вона менша й залежить від електричних і магнітних властивостей середовища.

Отже, на підставі результатів дослідів Г. Герца було підведено міцну основу під теорію Максвелла — існування електромагнітних хвиль, передбачених нею, експериментально підтвердилося на практиці.

ШКАЛА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ. Властивості електромагнітних хвиль виявилися доволі різноманітними та залежать від довжини випромінювання. За довжиною хвилі (λ) або частотою коливань (ν) діапазон електромагнітних хвиль становить від 10^{11} м ($3 \cdot 10^{-3}$ Гц) до 10^{-11} м ($3 \cdot 10^{19}$ Гц).

Електромагнітні хвилі мають практично необмежений діапазон власних частот і довжин. Їх можна розташувати на одній шкалі (рис. 25.4), де виокремлюють умовні діапазони: низькочастотні хвилі, радіохвилі, інфрачервоне, видиме, ультрафіолетове, рентгенівське та γ -випромінювання. Радіохвилі поділяють на наддовгі (понад 10 км), довгі (10 км — 1 км), середні (сотні метрів), короткі (десятки метрів). Вони переважно використовуються в радіомовленні та радіозв'язку.



Рис. 25.4. Шкала електромагнітних хвиль

Шкалу електромагнітних хвиль поділяють на діапазони не лише за частотою, а й за способом випромінювання.

1. Низькочастотні ($0\text{—}3\cdot 10^3$ Гц) — виробляють електричні генератори.
2. Радіохвилі ($3\cdot 10^4\text{—}3\cdot 10^{12}$ Гц) — генерують вібратори Герца, електронні генератори з антенами.
3. Інфрачервоні промені ($3\cdot 10^{11}\text{—}4\cdot 10^{14}$ Гц) — випромінюють нагріті тіла.
4. Світлові ($4\cdot 10^{14}\text{—}8\cdot 10^{14}$ Гц) — випромінюють тіла, нагріті до порівняно високої температури, зокрема лампи розжарювання, люмінофори.
5. Ультрафіолетові промені ($8\cdot 10^{14}\text{—}3\cdot 10^{16}$ Гц) — випромінюють тіла, нагріті до високої температури — 3000°C й вище (Сонце); на Землі — дуговий розряд.
6. Рентгенівське випромінювання ($3,7\cdot 10^{15}\text{—}3\cdot 10^{20}$ Гц) виникає під час гальмування заряджених частинок в електричному полі (рентгенівська трубка).
7. Гамма-випромінювання (від $3\cdot 10^{19}$ Гц і вище) виникає під час розпаду атомних ядер.

Завдяки радіохвилям люди слухають радіо, дивляться телебачення, користуються стільниковими телефонами тощо.

Електромагнітні випромінювання, довжина хвилі яких перевищує $0,1$ мм, належать до радіохвиль. Це — довгохвильова межа електромагнітного спектра.

В. Гершель, вимірюючи енергію різних променів видимого світла, виявив, що термометри нагріваються і за червоною межею спектра. Учений зробив висновок, що за нею існують невидимі промені. Їх назвали інфрачервоними, або тепловими, оскільки такі промені випромінює будь-яке нагріте тіло, навіть якщо воно не світиться. Діапазон інфрачервоних хвиль досить великий і перебуває між 760 нм і $500\,000$ нм. Він набагато ширший, ніж видимий спектр.

Діапазон довжин хвиль видимого світла перебуває між 400 нм (фіолетовий колір) і 760 нм (червоний колір).

Найважливішою характеристикою такого випромінювання є сприйняття його людським оком. Видимі промені найінтенсивніше випромінює Сонце, а земна атмосфера найефективніше їх пропускає.



Вільгельм Конрад Рентген
(1845—1923),
німецький фізик
У 1895 р. відкрив
короткохвильове
електромагнітне
випромінювання —
рентгенівські промені.
Перший Нобелівський
лауреат із фізики
(1901 р.)

Випромінювання, довжина хвилі якого коротша за видимі промені фіолетового кольору, називають ультрафіолетовим. Воно переважно шкідливе для живих організмів, проте більша його частина затримується атмосферою Землі — озоновий шар активно поглинає небезпечні промені. Частина ультрафіолету, найближча до видимих променів, доходить до поверхні Землі й викликає засмагу шкіри.

На шкалі електромагнітних хвиль за ультрафіолетовою частиною спектра розташоване рентгенівське випромінювання. Свою назву воно отримало на честь В. Рентгена, який у 1895 р. опублікував повідомлення про відкриття так званих «Х-променів». Вчений за це відкриття був удостоєний першої в історії Нобелівської премії з фізики. Важливе значення для відкриття «Х-променів» та вивчення їх властивостей мали дослідження відомого українського фізика І. П. Пулюя.

Маючи високу проникну здатність, рентгенівське випромінювання застосовується в медицині та кристалографії.

Найкоротші хвилі (менше 0,1 нм) мають γ -промені. Це найнебезпечніший вид радіоактивності. Енергія фотонів γ -променів дуже висока, і їх випромінювання здійснюється завдяки процесам в атомних ядрах.

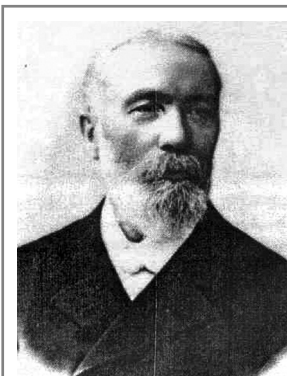
Гамма-промені проникають крізь товсті шари металу, тому використовуються для перевірки якості великих зливок, зварювання, а також в медицині, геології, техніці.

Властивості електромагнітного випромінювання залежать від довжини (частоти) хвилі. Чим вища його частота, тим більша енергія переноситься. Атмосфера пропускає видиме світло, незначну частину інфрачервоного й ультрафіолетового випромінювань, а також радіохвилі.

! Головне в цьому параграфі

Сукупність пов'язаних один з одним періодично змінних електричного й магнітного полів називають електромагнітним полем.

Поширення у вакуумі або в будь-якому середовищі з часом із кінцевою швидкістю змінних електричного й магнітного полів називається електромагнітною хвилею.



І. П. Пулюй
(1845–1918)
видатний український
учений, автор
досліджень із фізики
та електротехніки,
який перебував біля
витоків відкриття
«Х-променів»

Вектори \vec{E} і \vec{B} є взаємоперпендикулярні лежать у площині, перпендикулярній до швидкості \vec{v} поширення хвилі.

Швидкість поширення електромагнітних хвиль у вакуумі дорівнює швидкості світла й становить $3 \cdot 10^8$ м/с.

За типом збудження електромагнітних хвиль їх розташовують на одній шкалі, в якій виокремлюють умовні діапазони: низькочастотні хвилі, радіохвилі, інфрачервоне, видиме, ультрафіолетове, рентгенівське та γ -випромінювання. Хвилі різних діапазонів мають різне практичне застосування.

? Запитання для самоперевірки

1. Що називається електромагнітною хвилею?
2. У якому випадку електрично заряджені частинки є джерелами електромагнітних хвиль?
3. Які фізичні величини характеризують електромагнітну хвилю?
4. На які діапазони поділяють шкалу електромагнітних хвиль?
5. Наведіть приклади застосування електромагнітних хвиль та їхнього впливу на живі організми.

Вправа до § 25

- 1 (с). На якій частоті передають сигнал небезпеки SOS, якщо за міжнародною згодою довжина радіохвилі має становити 600 м?
- 2 (с). Випромінювач випускає електромагнітні хвилі з довжиною 0,2 м. Скільки коливань відбувається в ньому за 2 мкс?
- 3 (д). Радіопередавач працює на частоті 8 МГц. Скільки довжин хвиль укладається на ділянці довжиною 2 км вздовж напрямку поширення сигналу?
- 4 (д). Скільки довжин хвиль монохроматичного світла із частотою $5 \cdot 10^{14}$ Гц уміститься на ділянці 1,2 мм?
- 5 (в). Визначте та запишіть у таблицю частоту коливань електромагнітної хвилі для різних ділянок оптичного спектра.

Ділянка	Діапазон довжин хвиль	Діапазон частот $\nu = \frac{c}{\lambda}$
Ультрафіолетова	1 — 400 нм	
Видима	400 — 760 нм	
Інфрачервона	0,76 — 1000 мкм	

§ 26. Фізичні основи радіозв'язку

- ▶ *Принцип радіозв'язку*
- ▶ *Винайдення та застосування радіо*

ПРИНЦИП РАДІОЗВ'ЯЗКУ. Одним із перших та найважливіших способів практичного застосування електромагнітних хвиль стало винайдення радіозв'язку.

Радіозв'язок — передавання та приймання інформації за допомогою радіохвиль, які поширюються в просторі.

Для передачі на відстань звукових коливань, наприклад, голосу людини (коливання низьких частот від 75 до 1500 Гц), їх спочатку перетворюють за допомогою мікрофона в електричні коливання тієї самої форми та випромінюють у навколишній простір. За допомогою радіоприймача ці коливання приймаються та перетворюються знову в звукові, які сприймає вухо людини.

У процесі передачі використовують височастотні коливання (вони створюються спеціальними пристроями — генераторами), на які «накладають» низькочастотні звукові коливання. Цей процес називається модуляцією.

Модуляція — зміна одного або кількох параметрів височастотного коливання за законом низькочастотного.

Модуляцію коливань можна здійснювати, змінюючи їхню амплітуду, частоту тощо. Без модуляції неможливі ні телеграфна, ні телефонна, ні телевізійна передачі.

У приймачі з модульованих коливань високої частоти виокремлюються низькочастотні, які переносять звукову інформацію. Такий зворотний процес перетворення сигналу називають *детектуванням*.

Отриманий у результаті детектування сигнал відповідає тому звуковому, який первісно діяв на мікрофон передавача. Після підсилення коливання низької частоти можна перетворити на звук (рис. 26.1).

Радіохвилі поширюються зі швидкістю світла. Досягаючи антени приймача, вони індукують модульовані струми високої частоти, тотожні струмам передавача, але меншої потужності. Антена отримує енергію від електромагнітних хвиль і перетворює її в енергію електричних струмів.

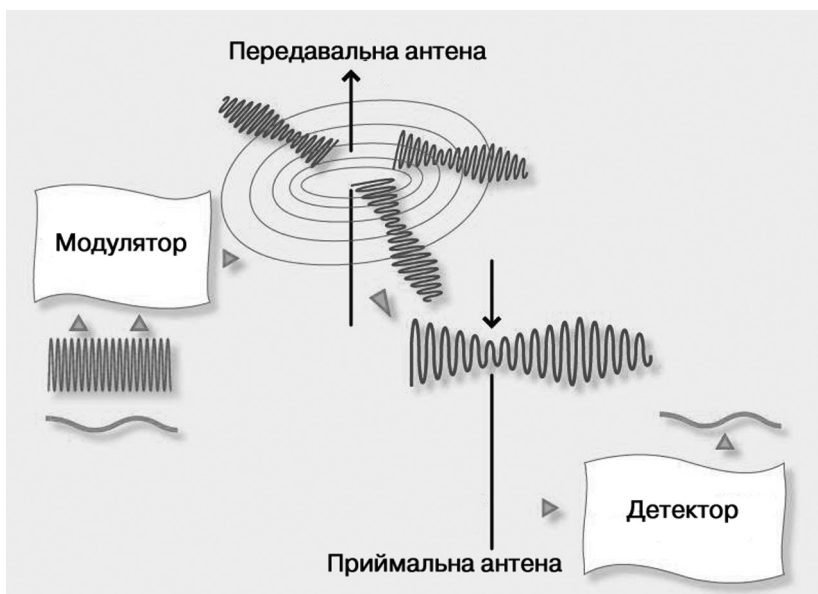


Рис. 26.1. Принцип радіозв'язку

Приймач виокремлює з великого набору коливань частоту потрібної станції та зменшує вплив атмосферних грозових розрядів, електричних контактів машин і приладів тощо, підсилює сигнал, вирізняє окремі частоти, якими промодульовано звукові, телеграфні, телевізійні тощо.

ВИНАЙДЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ РАДІО. У 1897 р. італійський учений Г. Марконі запатентував в Англії принцип застосування електромагнітних хвиль для здійснення бездротового зв'язку. У 1899 р. він провів радіопередачу через Ла-Манш, а в 1901 р. — через Атлантику. Його діяльність відіграла значну роль у розвитку радіотехніки, зокрема в поширенні радіо як засобу зв'язку, й була відзначена в 1909 р. Нобелівською премією з фізики.

Радіотехніка впроваджується в різні галузі науки, такі як фізика, астрономія, медицина, хімія та ін. Її методи застосовуються в системах передавання даних, радіозв'язку, радіомовленні, телебаченні, радіолокації, радіонавігації, радіоуправлінні, автоматичній обчислювальній техніці.

Наприклад, радіо використовується як для визначення місця розташування об'єктів (радіолокація), так і в ролі передавачів сигналу та радіомаяків (радіопеленгація). Радіохвилі застосовують із метою точного вимірювання відстаней між різними точками земної поверхні (радіогеодезія). Швидкість обчислення координат дає змогу миттєво визначати місце розташування рухомих

об'єктів, що застосовується у практиці управління кораблями й літаками (радіонавігація).

В Україні радіо використовується з метою радіотелеграфного зв'язку з 1902 р. Перша українська радіостанція розпочала мовлення 16 листопада 1924 р. в Харкові. У 1991 р. розпочався новий період в історії радіомовлення, що на той час велося в діапазонах довгих, середніх, коротких та ультракоротких хвиль. Було реорганізовано систему державного радіомовлення, яке відтоді здійснюється на трьох каналах і нині має Всесвітню службу. Сьогодні активно використовуються супутникові канали зв'язку, що дало змогу створити потужні мережеві радіокомпанії та інтернет-радіостанції.

! Головне в цьому параграфі

Радіозв'язок — передавання та приймання інформації за допомогою радіохвиль, які поширюються в просторі (бездротовий вид зв'язку).

Принцип радіозв'язку полягає в тому, що звукові низькочастотні коливання (наприклад, голос) спочатку перетворюють за допомогою мікрофона в електричні коливання тієї самої форми, модулюють ними високочастотні коливання та випромінюють у навколишній простір. За допомогою радіоприймача ці коливання приймаються та перетворюються знову в звукові, які сприймає вухо людини.

Модуляція — зміна одного або кількох параметрів високочастотного коливання за законом низькочастотного.

У приймачі з модульованих коливань високої частоти виокремлюються низькочастотні, які переносять звукову інформацію. Такий зворотний процес перетворення сигналу називають детектуванням.

Радіотехніка — галузь науки і технологія застосування радіохвиль з метою передавання інформації та енергії.

? Запитання для самоперевірки

1. Що таке радіозв'язок?
2. У чому полягає принцип радіозв'язку?
3. Для чого потрібна модуляція коливань?
4. Що називають детектуванням?
5. Які способи застосування радіохвиль ви знаєте?

§ 27. Сучасні засоби зв'язку та комунікацій. Радіолокація

- *Поширення радіохвиль. Радіолокація*
- *Сучасні засоби зв'язку та комунікацій*

ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ. РАДІОЛОКАЦІЯ. Під час використання електромагнітних хвиль у процесах радіозв'язку як джерело, так і приймач найчастіше розташовують поблизу земної поверхні. Істотний вплив на їх поширення справляють шари іонізованого газу верхньої частини атмосфери на висоті 100—300 км над поверхнею Землі, які називають іоносферою. Зберігаючи здатність пропускати видиме світло, інфрачервоне випромінювання й метрові радіохвилі, іоносфера відбиває довгі хвилі. Земна куля нібито оточена сферичним «дзеркалом», і поширення радіохвиль здійснюється між двома поверхнями — Землею й іоносферою (рис. 27.1).

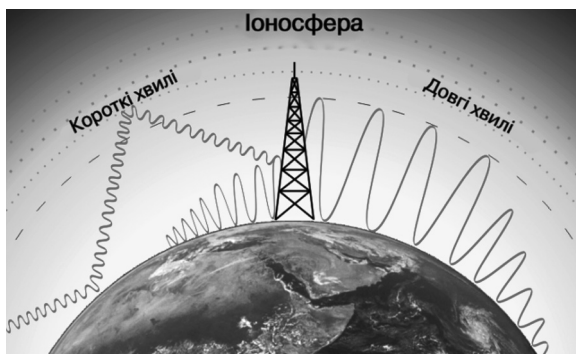


Рис. 27.1. Поширення радіохвиль різної довжини

Поширення радіохвиль суттєво залежить від їхньої довжини. Короткі хвилі ($\lambda \approx 10 \text{ м} - 100 \text{ м}$) багаторазово відбиваються від іоносфери й поверхні Землі. Довгі ($\lambda > 1 \text{ км}$) — «ковзають» уздовж неї. Ультракороткі ($\lambda < 10 \text{ м}$) проникають крізь іоносферу.

Стійкий радіозв'язок між віддаленими наземними пунктами поза прямою видимістю здійснюється завдяки відбиттю хвиль від іоносфери та їхній здатності огинати випуклу поверхню Землі. Ефективніше долають перешкоди довгі хвилі.

Короткі хвилі поширюються на значні відстані лише завдяки багаторазовому відбиванню від іоносфери й поверхні Землі. Вони виявляються «замкненими» у своєрідному сферичному хвилеводі, стінками якого є нижня межа іоносфери й земна поверхня. Тоді хвилі, що випромінюються радіостанцією, наприклад, у центрі Азії, досягають приймачів у Південній Америці.

Ультракороткі радіохвилі проникають крізь іоносферу й майже не огинають поверхні Землі. Тому вони забезпечують радіозв'язок між окремими об'єктами в межах прямої видимості, а також із космічними кораблями.

Щоб забезпечити цілодобовий зв'язок доводиться використовувати хвилі різної довжини. Вивчення добових і сезонних змін стану іоносфери дає змогу не лише пояснити, а й передбачити умови проходження радіохвиль, тобто здійснювати радіопрогнози.

На явищі відбиття радіохвиль від будь-яких об'єктів базується процес радіолокації — виявлення й точне визначення положення літаків, кораблів, айсбергів тощо. Її здійснюють за допомогою установок, які називаються радіолокаційними станціями (РЛС), або радарми. Радіолокатори відрізняються діапазонами радіохвиль, кодом зондувального сигналу, спектром використовуваних каналів, кількістю та видом вимірюваних координат, місцем розташування тощо.

Радіолокатори — це установки імпульсної дії. Передавач випромінює хвилі короткочасними імпульсами, тривалість яких становить мільйонні частки секунди, а проміжок часу між ними — майже в 1000 разів більший. Сучасна радіолокаційна станція — це складний радіотехнічний механізм. Принцип її роботи можна пояснити за допомогою блок-схеми, зображеної на рис. 27.2.

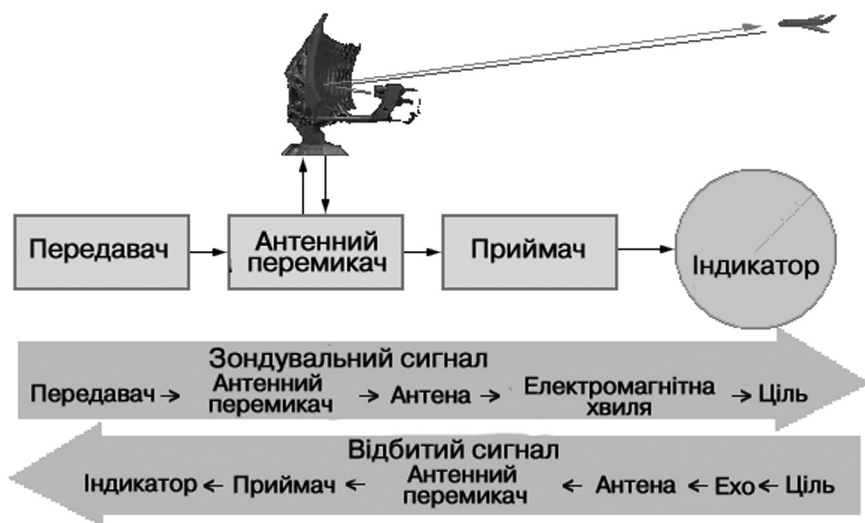


Рис. 27.2. Структурна схема радіолокаційної станції

У момент відправлення імпульсу антена перемикається в режим передавання. Одночасно з його випромінюванням короткочасний сигнал відтворюється на екрані індикатора.

Після відправлення імпульсу антенний перемикач з'єднує її з приймачем. Відбитий від перешкоди сигнал приймається нею, багато-

разово підсилюється і подається на екран. Виникає вторинне вертикальне відхилення на певній відстані від першого. Знаючи швидкість руху електронного променя в електронно-променевій трубці, можна визначити час проходження радіохвиль від антени до цілі й навпаки.

Оскільки швидкість радіохвиль в атмосфері практично не змінюється й становить $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, то відстань до цілі визначається як:

$$R = \frac{ct}{2}.$$

Відстань між позначками на екрані індикатора, що відповідають максимальним значенням відхилень, пропорційна часові проходження сигналу й, отже, відстані до цілі. Це дає змогу проградувати шкалу безпосередньо в кілометрах.

Внаслідок розсіювання радіохвиль до приймача надходить лише незначна частина випромінюваної енергії. Тому прийнятий сигнал підсилюють у трильйони (10^{12}) разів.

Радіолокація застосовується насамперед із метою забезпечення протиповітряної оборони країни (ППО) — виявлення ворожих ракет, літаків, кораблів тощо. Дальність дії сучасних радіолокаторів досягає кількох сотень кілометрів. На їхню ефективність майже не впливають погодні умови й час доби. Вітчизняну радіолокаційну станцію «Малахит» було прийнято на озброєння в січні 2012 р. Вона вирізняється цифровим обробленням сигналів, інтеграцією із сучасними автоматичними системами управління, висока стійкість до різноманітних перешкод. Робоча дальність комплексу становить до 400 км (рис. 27.3).



Рис. 27.3. Українська радіолокаційна станція «Малахит»

Радіолокаційні установки використовуються також у цивільній авіації, метеорології, картографії тощо. В аеропортах за допомогою локаторів відстежують злет і приземлення літаків. Наземна служба передає пілотам необхідні дані, убезпечуючи здійснення польотів. Кораблі й літаки також облаштовано радіолокаторами, що використовуються для навігаційних цілей. На їхньому екрані

відображається картина розташування об'єктів, які відбивають і розсіюють радіохвилі. Оператор отримує радіолокаційну карту місцевості.

СУЧАСНІ ЗАСОБИ ЗВ'ЯЗКУ ТА КОМУНІКАЦІЙ. У нашій країні нині створюється Єдина автоматизована система зв'язку, безупинно розбудовуються, удосконалюються й знаходять різні сфери застосування новітні комунікаційні технології. Під супутниковими технологіями розуміють створення та експлуатацію відповідних систем зв'язку, радіонавігаційних і диспетчерських систем управління транспортом. Використовуючи такі системи, здійснюється обмін інформацією, забезпечується персональний супутниковий зв'язок.

Сучасні бездротові засоби зв'язку складаються з мобільної телефонії, стаціонарних радіотелефонів, смартфонів, Wi-Fi-технологій тощо. Активно розвивається супутниковий зв'язок, який залежно від виду послуг поділяють на системи пакетного передавання даних, мовного (радіотелефонного) зв'язку та визначення місцезнаходження користувачів.

Щоб забезпечити мобільний зв'язок на великих відстанях, застосовують мережу ретрансляторів. Зони їх роботи утворюють шестикутники, схожі на стільник. Саме тому мобільні телефони називають також стільниковими.

В основу стільникового телефонного зв'язку покладено використання комп'ютерних систем, що пов'язують номери абонентів й адреси найближчих ретрансляторів. Під час з'єднання такою системою визначається оптимальний шлях зв'язку між абонентами — послідовність передавання сигналів через обрані ретранслятори. Стільниковий телефон постійно приймає сигнал одного ретранслятора, з яким він зв'язаний. Під час переміщення абонента здійснюється перереєстрація — прив'язка до іншого найближчого ретранслятора.

Прозорість іоносфери для ультракоротких хвиль дає змогу здійснювати різні види радіозв'язку зі штучними супутниками Землі й космічними кораблями (телефонний зв'язок, радіоуправління, телебачення, а також телеметрія — передавання на Землю показників різних вимірювальних приладів). Супутники зв'язку приймають сигнал і передають його іншій наземній станції, що перебуває на значній відстані від першої, і так знову й знову (рис. 27.4).

Часто абонентові необхідно знати місцезнаходження (координати) певного об'єкта на місцевості. З цією метою використовують глобальні супутникові системи позиціонування (наприклад, GPS — Global Positioning Systems).

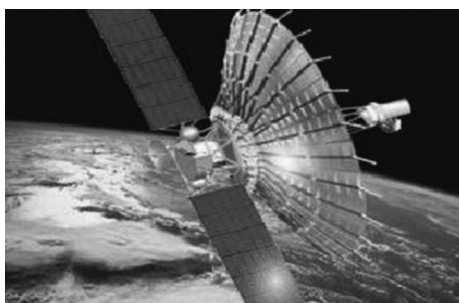


Рис. 27.4. Космічний теле- й радіозв'язок

Інтеграція телекомунікацій (телефонних мереж і бездротових зв'язань), комп'ютерів, програмного забезпечення, накопичувальних та аудіовізуальних систем, що дають змогу створювати, одержувати доступ, зберігати, передавати та змінювати інформацію, здійснюється засобами інформаційно-комунікаційних технологій. Комп'ютерна мережа — це дві або більше електронні системи, з'єднані за допомогою спеціального обладнання. Вона забезпечує обмін інформацією, колективне опрацювання даних, спільне користування програмами, принтерами, модемами тощо. Із розвитком сучасних технологій виникли глобальні мережі.

Бездротову технологію передавання інформації радіоканалами зв'язку, яку було розроблено й уперше застосовано в локальних мережах великих корпорацій і компаній Кремнієвої долини США, назвали Wi-Fi-технологією (від *Wireless Fidelity* — бездротова якість). Зв'язок із мобільним абонентом було здійснено через «точки доступу», що належали до кабельної інфраструктури компанії. Проте згодом цим терміном дедалі частіше стали називати технології бездротових локальних мереж (рис. 27.5).



Рис. 27.5. Емблема й схема роботи Wi-Fi

Зазвичай Wi-Fi-мережа містить не менше однієї точки доступу та може легко масштабуватися. За способом об'єднання в єдину

систему можна виокремити автономні точки доступу (самостійні, децентралізовані, «розумні»), централізовані, безконтрольні, але керовані тощо. За способом організації й управління — бездротові локальні мережі зі статичним, динамічним та багатопарним налаштуваннями радіоканалів.

Наявність Wi-Fi-зон (точок) дає змогу під'єднатися, наприклад, до офісної, домашньої або всесвітньої мережі Інтернет, а також підтримувати з'єднання кількох комп'ютерів між собою. Дальність поширення інформації такими мережами залежить від потужності передавача, наявності та виду перешкод, типу антени тощо.

! Головне в цьому параграфі

За допомогою електромагнітних хвиль здійснюються радіомовлення, радіолокація, космічний та мобільний зв'язок тощо.

Радіолокація — виявлення різних предметів і вимірювання відстані до них за допомогою радіохвиль. В її основу покладено властивість електромагнітних хвиль відбиватися від металевих предметів або будь-яких тіл, що проводять електричний струм.

Поширення радіохвиль суттєво залежить від їхньої довжини. Короткі хвилі відбиваються від іоносфери й поверхні Землі. Довгі — «ковзають» уздовж неї. Ультракороткі проникають крізь іоносферу.

Сучасні бездротові засоби зв'язку складаються з мобільної телефонії, стаціонарних радіотелефонів, смартфонів, Wi-Fi-технологій.

Під супутниковими технологіями розуміють створення та експлуатацію відповідних систем зв'язку, радіонавігаційних і диспетчерських систем управління транспортом.

Інтеграція телефонних мереж, бездротових з'єднань, комп'ютерів, програмного забезпечення, накопичувальних та аудіовізуальних систем здійснюється засобами інформаційно-комунікаційних технологій.

? Запитання для самоперевірки

1. Що ви знаєте про особливості поширення середніх і довгих радіохвиль?
2. Які особливості поширення коротких та ультракоротких хвиль?
3. Яку роль у процесі поширення радіохвиль відіграє іоносфера?
4. Чи є істотні відмінності між умовами поширення радіохвиль на Землі й на Місяці?
5. Що називають радіолокацією? Які хвилі використовують у радіолокації?
6. Що таке радар і в якому режимі він працює?
7. Як визначають відстань до об'єкта в радіолокації?
8. Що таке стільниковий зв'язок?
9. У чому полягає сутність Wi-Fi-технологій?

Вправа до § 27

- 1 (п). Світловий рік — це відстань, на яку поширюється світлова хвиля впродовж року (365 діб). Виразіть її в кілометрах.
- 2 (п). Чому збільшення дальності радіозв'язку з космічними кораблями у 2 рази потребує підвищення потужності передавача в 4 рази?
- 3 (с). Порівняйте час поширення звуку від Києва до Львова (близько 540 км) і світла від Місяця до Землі (приблизно 380 000 км)?
- 4 (с). Скільки разів радіохвилі можуть обігнути Землю навколо екватора, довжина якого близько 40 000 м за одну секунду?
- 5 (с). Обчисліть відстань до об'єкта, якщо відбитий від нього радіосигнал повернувся через 3 мкс.
- 6 (д). Вітчизняна радіолокаційна станція «Малахіт», яку було прийнято на озброєння Збройних сил України в січні 2012 р., випромінює імпульс електромагнітних хвиль, що містить $N = 937,5$ коливань. Визначте його тривалість, якщо довжина випроміненої хвилі становить 1 см.
- 7 (д). Радіолокатор працює в імпульсному режимі, випромінюючи 1000 імпульсів за 1 с. Тривалість одного становить 10^{-6} с. Визначте найбільшу й найменшу дальність виявлення цілі таким локатором.
- 8 (в). Обчисліть глибину розвідки на поверхні моря кожного з радіолокаторів корабля, якщо один із них розташований на висоті 8 м над рівнем моря, другий — 15 м, а третій — 25 м.
- 9 (в). Київська телевежа — суцільнометалева просторова ґратована споруда висотою 380 метрів побудована у 1968—1973 рр. — найвища решітчаста вільностояча конструкція світу. Її висота над поверхнею Землі становить 380 м. На якій граничній відстані від неї можна здійснювати телепередачу якщо висота приймальної антени — 10 м?

Виконуємо навчальний проект разом

Шановні друзі! Ви ознайомилися з особливостями виникнення, поширення та застосування механічних й електромагнітних хвиль. Досягнення фізики в цій галузі дали людству можливість створити принципово нові засоби телекомунікацій — від безпроводного телеграфу, радіо й телебачення до інформаційно-комунікаційних технологій, супутникового та стільникового зв'язку. Радіотехнічні прилади й способи дослідження проникли майже в усі сфери життєдіяльності людини, їх використовують у техніці, медицині, на виробництві. Застосовуючи високочастотні електричні коливання, лікують хворих, загартовують сталь, здійснюють космічний зв'язок тощо.

Сьогодні актуальними є проблеми, пов'язані із ефективним використанням електромагнітної енергії, розробленням інформаційно-комунікаційних технологій та зменшенням негативного впливу електромагнітного випромінювання, вібрацій і шумів на живі організми.

У розділі «Механічні та електромагнітні хвилі» вам пропонуються такі навчальні проекти:

— інформаційні: електромагнітні хвилі в природі й техніці; інфра- та ультразвук в техніці; застосування рентгенівського та гамма-випромінювання;

— дослідницькі: вплив електромагнітного випромінювання на організм людини; вібрації і шуми та їх вплив на живі організми; звуки в житті людини.

Вчимося розв'язувати фізичні задачі на хвильові явища

У значній кількості задач розділу «Механічні та електромагнітні хвилі» потрібно записати кінематичне рівняння руху матеріальної точки. Під час рівномірного прямолінійного руху воно виражається формулою $S = vt$, де S — відстань, v — швидкість тіла, t — час його руху. Використовуючи певні додаткові умови, розв'язок подібних задач можна представити у вигляді системи простих рівнянь.

Щоб скласти відповідну систему рівнянь рекомендуємо, прочитавши умову, побудувати схематичне зображення, на якому вказати систему відліку, траєкторію руху матеріальної точки, задані й шукані відрізки шляху, швидкість і час. Потім, використовуючи відповідні формули, встановити зв'язок між величинами, зазначеними на схемі і записати додаткові кінематичні рівняння.

Під час розв'язування значної кількості задач розділу використовується закон збереження енергії. Якщо знехтувати її втратами, то повна енергія коливальної системи в будь-який момент часу дорівнює сумі кінетичної енергії тягарця й потенціальної енергії деформованої пружини

$W_{\text{повна}} = \frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2}$, де m — маса тягарця; v — його швидкість; k — коефіцієнт жорсткості пружини; x — зміщення від положення рівноваги.

Часто під час розв'язування задач доводиться використовувати

рівність максимальних значень енергій: $W_{\text{повна}} = \frac{mv_0^2}{2} + \frac{kx_{\text{max}}^2}{2}$, де

v_0 — максимальне значення швидкості; x_{max} — максимальне зміщення тягарця від положення рівноваги (амплітуда).

Якщо коливання частинки відбувається в пружному середовищі, то в ньому поширюється механічна хвиля. Відстань, на яку поширюються коливання за період T дорівнює її довжині λ :

$$\lambda = vT = \frac{v}{\nu},$$

де v — швидкість поширення хвилі, T — період $\left(T = \frac{t}{N} = \frac{1}{\nu}\right)$; ν — частота коливань. Потрібно також пам'ятати, що електромагнітні хвилі поширюються у вакуумі із швидкістю світла $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Задача 1. Відстань між гребенями морських хвиль становить 4 м. Під час зустрічного (відносно хвиль) руху катера вони за 1 с вдарають по його корпусу 4 рази, а під час попутного — двічі. Знайти швидкості поширення хвиль і катера ($v_k > v_{xb}$).

Дано:

$$\lambda = 4 \text{ м}$$

$$t = 1 \text{ с}$$

$$N_1 = 4$$

$$N_2 = 2$$

$$v_{xb} — ?; v_k — ?$$

Розв'язок

Швидкість поширення морських хвиль визначаємо за формулою: $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \nu$, де λ — довжина хвилі, T — період коливань, ν — їх частота. У системі відліку, пов'язаною із Землею, частоту ударів хвиль по корпусу катера під час зустрічного й попутного рухів визначаємо, відповідно, за такими формулами: $\nu_1 = \frac{N_1}{t}$ і $\nu_2 = \frac{N_2}{t}$. Тоді $v_k + v_{xb} = \lambda \nu_1 = \lambda \frac{N_1}{t}$ — під час зустрічного руху й $v_k - v_{xb} = \lambda \nu_2 = \lambda \frac{N_2}{t}$ — під час попутного. Складемо систе-

му рівнянь $\begin{cases} (v_k + v_{xb})t = \lambda N_1 \\ (v_k - v_{xb})t = \lambda N_2 \end{cases}$, розв'язавши яку отримаємо:

$$v_{xb} = \frac{\lambda}{2t}(N_1 - N_2) = \frac{4 \text{ м}}{2 \cdot 1 \text{ с}}(4 - 2) = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$v_k = \frac{\lambda}{2t}(N_1 + N_2) = \frac{4 \text{ м}}{2 \cdot 1 \text{ с}}(4 + 2) = 12 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Відповідь: $v_{xb} = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}}; v_k = 12 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$

Задача 2. На відстані 3 км від спостерігача з висоти 4 км вертикально вниз спалахнула блискавка. Через який час спостерігач почує звук грому?

Дано:

$$S = 3 \text{ км} = 3 \cdot 10^3 \text{ м}$$

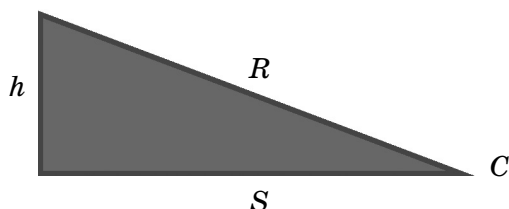
$$h = 4 \text{ км} = 4 \cdot 10^3 \text{ м}$$

$$v_{зв} = 340 \text{ м/с}$$

$$t — ?$$

Розв'язок

На рисунку літерою C зображено місце розташування спостерігача. S — відстань від нього до точки на поверхні Землі, над якою спалахнула блискавка; h — висота, на якій знаходяться грозові хмари; R — відстань від спостерігача до місця розряду блискавки.



Звук грому спостерігач почує через $t = \frac{R}{v_{\text{зв}}}$. З прямокутного

трикутника за теоремою Піфагора визначаємо, що $R^2 = S^2 + h^2$;

$R = \sqrt{S^2 + h^2}$. Тоді

$$t = \frac{\sqrt{S^2 + h^2}}{v_{\text{зв}}} = \frac{\sqrt{9 \cdot 10^6 \text{ м}^2 + 16 \cdot 10^6 \text{ м}^2}}{340 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = \frac{\sqrt{25 \cdot 10^6 \text{ м}^2}}{340 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = \frac{5000}{340} \text{ с} = 14,7 \text{ с}.$$

Відповідь: $t = 14,7 \text{ с}$.

Задача 3. Мотоцикліст, що їде прямолінійною ділянкою шляху, побачив як людина на узбіччі вдарила металевим стержнем по підвішеному рельсу, а через 2 с почув звук. З якою швидкістю рухається мотоцикліст, якщо він проїхав повз людину через 36 с після початку спостереження?

Дано:

$$t = 2 \text{ с}$$

$$T = 36 \text{ с}$$

$$v_{\text{зв}} = 340 \text{ м/с}$$

$$v_{\text{м}} = ?$$

Розв'язок

Відстань до людини на узбіччі мотоцикліст долає за 36 с з моменту спостереження: $S = v_{\text{м}}T$. Звук долає її за 2 с: $S = (v_{\text{м}} + v_{\text{зв}})t$. Звідки маємо $v_{\text{м}}T = (v_{\text{м}} + v_{\text{зв}})t$. Тоді $v_{\text{м}}(T - t) = v_{\text{зв}}t$. Визначаємо:

$$v_{\text{м}} = \frac{v_{\text{зв}}t}{T - t} = \frac{340 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 2 \text{ с}}{36 \text{ с} - 2 \text{ с}} = \frac{680 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{34} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Відповідь: $v_{\text{м}} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Задача 4. Щоб розвідати глибинні родовища геологи часто вдаються до вибуху, хвилі від якого, відбиваються від густіших порід і через певний час знову фіксуються на поверхні. Яка швидкість поширення вибухової хвилі в земній корі, якщо вона надходить через 22 с після вибуху, а тверда порода залягає на глибині 55 км?

Дано:

$$h = 55 \text{ км} = 5,5 \cdot 10^4 \text{ м}$$

$$t = 22 \text{ с}$$

$$v_{\text{хв}} = ?$$

Розв'язок

Відстань до покладів родовища становить $h = \frac{v_{\text{хв}}t}{2}$. Звідки знаходимо

$$v_{\text{хв}} = \frac{2h}{t} = \frac{2 \cdot 5,5 \cdot 10^4 \text{ М}}{22 \text{ с}} = 5 \cdot 10^3 \frac{\text{М}}{\text{с}}.$$

Відповідь: $v_{\text{хв}} = 5 \cdot 10^3 \frac{\text{М}}{\text{с}}.$

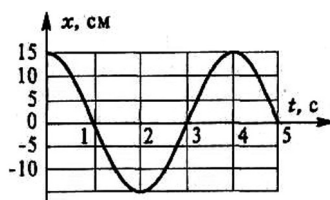
**Виявляємо предметну компетентність із розділу
«Механічні та електромагнітні хвилі»**

- 1 (п).** Виберіть визначення механічних коливань:
А. Рівномірний прямолінійний рух тіла.
Б. Рівнозмінний прямолінійний рух тіла.
В. Рух, що періодично повторюється.
Г. Рівнозмінний криволінійний рух тіла.
- 2 (п).** Виберіть правильне твердження, що характеризує властивості звукові хвилі:
А. Гучність звуку визначається амплітудою коливань джерела.
Б. Гучність звуку визначається частотою коливань джерела.
В. Гучність звуку визначається періодом коливань джерела.
Г. Гучність звуку визначається швидкістю руху джерела.
- 3 (с).** Установіть відповідність між назвою фізичної величини та її одиницею виміру:

довжина хвилі	Гц
частота	м
період	с
швидкість хвилі	м/с

- 4 (с).** Скільки коливань здійснює маятник за 10 с, якщо їхня частота становить 2 Гц?

А.	Б.	В.	Г.
2	5	10	20

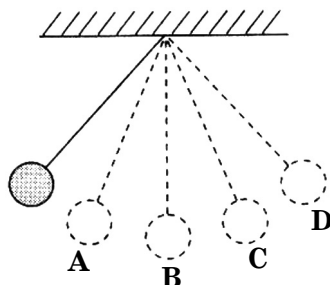


- 5 (с).** За графіком визначте період коливань:

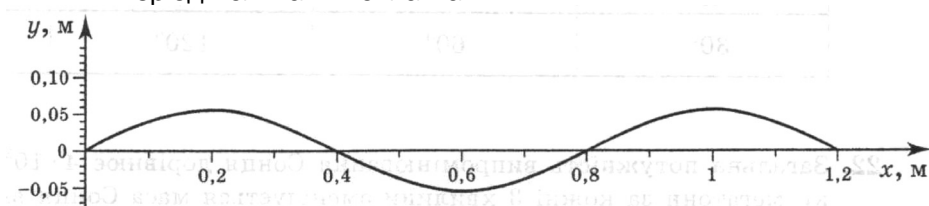
А.	Б.	В.	Г.
2 с	5 с	4 с	15 см

- 6 (с).** Вкажіть положення, в якому швидкість кульки максимальна.

А.	Б.	В.	Г.
D	B	A і C	A



- 7 (с). Поверхнею озера із швидкістю 1 м/с поширюється хвиля, профіль якої має вигляд кривої, зображеної на рисунку. Визначте період коливань поплавка.



А.	Б.	В.	Г.
0,1 с	0,4 с	0,8 с	1,2 с

- 8 (с). Човен похитується на хвилях, що поширюються із швидкістю 1,5 м/с. Визначте період коливань човна, якщо відстань між двома найближчими гребнями хвиль дорівнює 6 м:

А.	Б.	В.	Г.
2 с	6 с	4 с	с

- 9 (с). Хвиля від катера надходить до берега через 1 хв. На якій відстані від нього рухається катер, якщо відстань між сусідніми гребнями хвилі дорівнює 1,5 м, а час між двома послідовними ударами об берег — 2 с?

А.	Б.	В.	Г.
45 м	4,5 м	9 м	45 см

- 10 (с). Установіть відповідність між фізичними поняттями та їхніми властивостями.

Гучність звуку	Визначається частотою звукової хвилі
Висота тону	Визначається наявністю частот, кратних основній частоті звуку
Тембр звуку	Визначається амплітудою звукової хвилі
Акустичний резонанс	Різка зростання амплітуди коливань
	Визначається наявністю обертонів — їхніми частотами й амплітудами

- 11 (д). Як зміниться тональність звуку під час переходу в інше середовище? Що відбудеться з висотою тону, якщо довжина хвилі збільшилася в 4 рази?

А.	Б.	В.	Г.
збільшиться в 4 рази	зменшиться в 4 рази	не зміниться	збільшиться в 2 рази

- 12 (д). Частотний діапазон рояля становить від 90 до 9000 Гц. Визначити діапазон довжин хвиль у повітрі за швидкості звуку 342 м/с.

А.	Б.	В.	Г.
0,038 ÷ 3,8 м	38 ÷ 0,38 м	3,8 ÷ 0,038 м	3,8 ÷ 0,38 м

- 13 (д).** Під час резонансу відбувається істотне, порівняно з вільними коливаннями, зростання

А	Б	В	Г
частоти	амплітуди	періоду	кількості коливань

- 14 (д).** Хлопчик несе на коромислі відра з водою, період вільних коливань яких становить 0,8 с. Довжина його кроку дорівнює 60 см. Визначте швидкість руху хлопчика, при якій вода розпочне вилюпуватися з відер:

А	Б	В	Г
0,75 м/с	1,5 м/с	0,9 м/с	1,8 м/с

- 15 (д).** Антена (диполь), що випромінює електромагнітні хвилі, представляє вертикально натягнутий дріт. Як мають бути розміщені приймальні антени, щоб телевізійний сигнал був найстійкішим?

А	Б	В	Г
вертикально	горизонтально	не має значення	правильної відповіді немає

- 16 (д).** Випромінювач випускає електромагнітні хвилі довжиною 0,2 м. Скільки коливань здійснюється в ньому за 2 мкс?

А	Б	В	Г
3000	2300	3500	4000

- 17 (д).** Сигнал ехолота повернувся через 0,4 с після випромінювання. Вважаючи швидкість поширення ультразвуку рівною 1,5 км/с, визначте глибину моря:

А	Б	В	Г
100 м	450 м	300 м	600 м

- 18 (в).** Телевізійний ретранслятор встановлено на супутнику, який рухається коловою орбітою на висоті 36 000 км над поверхнею Землі. Супутник розташовано на одній вертикалі з приймальною антеною, яка розміщена поблизу передавача. За який час сигнал надійде від телецентру до телевізора?

- 19 (в).** Стрілець почув, що куля влучила в ціль через 1 с після пострілу. На якій відстані розташована мішень, якщо куля летить із швидкістю 500 м/с? Швидкість звуку в повітрі становить 332 м/с.

- 20 (в).** Два корабля перебувають на відстані 3 км один від одного. Яка глибина моря під ними, якщо звуковий сигнал ехолота, відправлений з першого корабля, був прийнятий на другому двічі а інтервалом 2 с. Швидкість поширення звуку у воді становить 1500 м/с.

- 21 (в).** У момент, коли відстань між Землею і Марсом найменша, на Марс надсилають радіосигнал. Відбившись від поверхні Марса, він повернувся через 0,37 с. Яка мінімальна відстань між Землею і Марсом?

Головне в розділі 3

Механічна хвиля — процес поширення коливань у пружному середовищі з плином часу, коли речовина не переноситься, а передається лише енергія від однієї його частини до іншої.

Проміжок часу T , протягом якого здійснюється одне повне коливання, називають періодом: $T = \frac{t}{N}$, де t — час; N — число коливань. Період хвилі — це період коливань її джерела. Одиниця виміру періоду у СІ — секунда (с).

Частотою називають фізичну величину, що дорівнює числу коливань за одиницю часу: $\nu = \frac{N}{t}$. Одиницею її виміру в СІ є герц (Гц) — частота коливань, у процесі яких тіло за 1 с здійснює одне повне коливання. Частота і період коливань пов'язані співвідношенням $\nu = \frac{1}{T}$.

Довжина хвилі λ — це відстань, на яку вона поширюється впродовж одного періоду $\lambda = \nu T$, де ν — швидкість поширення хвилі, T — період коливань джерела. Одиницею її виміру в СІ є метр (м).

Основною властивістю будь-яких хвиль, незалежно від їхньої природи, є перенесення енергії без переміщення речовини.

Звуком називають коливання, які сприймаються органами слуху людини. Його фізичними параметрами є частота та інтенсивність, фізіологічними — висота, гучність і тембр.

Звукові хвилі з частотою, вищою від звукового діапазону, називають ультразвуком, із нижчою — інфразвуком.

Поширення у вакуумі або в будь-якому середовищі із часом з кінцевою швидкістю змінних електричного й магнітного полів називається електромагнітною хвилею.

За допомогою електромагнітних хвиль здійснюються радіомовлення, радіолокація, космічний та мобільний зв'язок тощо.

Радіолокація — це виявлення різних предметів і вимірювання відстані до них за допомогою радіохвиль.

Розділ 4

ФІЗИКА АТОМА ТА АТОМНОГО ЯДРА. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

На початку XXI століття вплив людства на природне середовище досяг критичного рівня. Нераціональне використання енергетичних ресурсів призвело до стрімкого збільшення в атмосфері Землі концентрації парникових газів, що зумовлює глобальні зміни клімату. Проте які б технологічні інновації не пропонувались для зменшення шкідливого впливу виробництва енергії на навколишнє середовище, головним завданням залишається зменшення концентрації вуглекислого газу (CO_2) в атмосфері удвічі впродовж найближчих 50 років.

Нині альтернативою видобувному паливу є такі джерела енергії, як ядерна енергія, енергія біомаси, Сонця, води. З цих п'яти джерел тільки атомна енергія використовується у великих обсягах, виробляючи 17 % електроенергії, або 7,5 % всієї енергії в світі.

Україна є однією з десяти провідних країн із виробництва електричної енергії на атомних електростанціях. У енергозабезпеченні нашої країни частка ядерної енергетики становить понад 50 %.

Ви ознайомитеся із сучасними уявленнями про будову атома та атомного ядра, реакціями поділу важких ядер та термоядерного синтезу, фізичними основами ядерної енергетики.

Та чи безпечним є використання ядерного палива? І що таке радіація? Як вона впливає на людину та як зменшити цей вплив? Відповіді на ці та інші питання ви дізнаєтесь, вивчаючи цей розділ.

§ 28. Сучасна модель атома

- ▶ *Розвиток учення про будову атома*
- ▶ *Досліди Резерфорда. Сучасна модель атома*

РОЗВИТОК УЧЕННЯ ПРО БУДОВУ АТОМА. Протягом багатьох тисячоліть мислителі всього світу шукали першооснову матерії. Найперше атомістичне вчення, що зберегла історія, пов'язують з ім'ям Мосхи Сидонського з м. Сидона у Фінікії (тепер м. Сайда в Лівані), котрий жив у XII ст. до н. е.

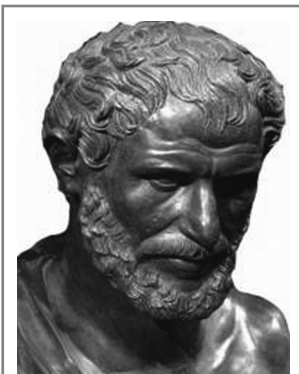
Завдяки працям давньогрецьких філософів Левкіппа, Демокріта, Епікура у V—IV ст. до н. е. було створено одне з найвизначніших інтелектуальних досягнень античної культури — система атомізму. Дослівний переклад давньогрецького слова «атом» — неподільний, такий, який не можна розчленувати. Відповідно, під атомами, розуміли дрібні першотіла, які не підлягають подальшому поділу. Поєднання атомів утворюють нескінченну різноманітність видимих тіл, речей. Унаслідок неподільності атоми незнищенні, вічні й, що особливо важливо, здатні до вічного руху. Цей рух атомів і є, в кінцевому підсумку, причиною як виникнення, так і руйнування наявних речей.

Видатний грецький мислитель Арістотель (384—322 рр. до н. е.) вважав, що процес поділу речовини може бути нескінченним. До ідей атомізму наукова думка повернулася лише в XVII ст. завдяки працям французького філософа і математика П'єра Гассенді (1592—1655), який припустив, що всі тіла утворюються як комбінації атомів, поряд з якими існує порожній простір, де й відбувається рух тіл.

Відомий англійський фізик та хімік Роберт Бойль (1627—1691) вперше сформулював поняття хімічного елемента як найпростішої частинки матерії та ввів у хімію експериментальний метод, започаткувавши становлення хімії як науки.

Упродовж XVII—XIX ст. завдяки працям Джона Дальтона (ввів поняття атомної ваги, встановив що атоми однієї й тієї самої хімічної речовини мають однакові властивості), Амедео Авогадро (закон Авогадро, методи визначення молекулярної та атомної ваги), Майкла Фарадея (закон збереження електричного заряду, закони електролізу), Дмитра Менделєєва (періодичний закон) та інших вчених було створено сприятливе підґрунтя для розвитку експериментальних досліджень структури молекул та атомів.

Упродовж багатьох століть атоми залишалися тільки абстрактними поняттями, оскільки не було жодної можливості перевірити їх існування. Лише створення приладів, які дали змогу експериментально вивчити властивості та структуру атомів відкрило нову сторінку в історії фізики мікросвіту, — епоху атомної та ядерної фізики.



Демокріт Абдерський
(приблизно 460—
370 рр. до н. е.),
давньогрецький
філософ-матеріаліст,
засновник
атомістичної гіпотези
пояснення світу

Атомна фізика — розділ фізики, що вивчає будову та властивості атомів й іонів, а також пов'язані з ними процеси.

Ядерна фізика — розділ фізики, що вивчає структуру та властивості атомних ядер, і механізми ядерних реакцій (у тому числі радіоактивний розпад).

Важливим етапом у розвитку вчення про будову атома стало експериментальне відкриття у 1897 р. англійським фізиком Дж. Томсоном електрона. У 1904 р. учений запропонував модель будови атома (рис. 28.1), згідно з якою атом — це позитивно заряджена куля з вкрапленнями негативно заряджених електронів (модель «пудинг із родзинками»).

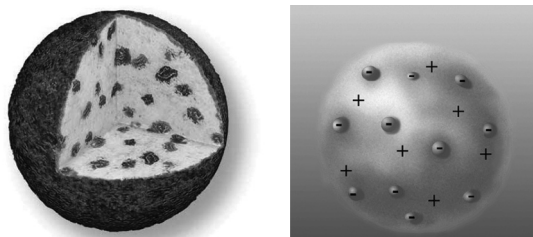


Рис. 28.1. Модель атома Дж. Томсона

Хоча модель атома Дж. Томсона мала певні обмеження і не повністю відповідала дослідним фактам, її запровадження стимулювало подальші наукові дослідження будови атома.



Ернест Резерфорд
(1871—1937),
британський фізик,
лауреат Нобелівської
премії з хімії (1908 р.),
у своїй лабораторії

ДОСЛІДИ РЕЗЕРФОРДА. СУЧАСНА МОДЕЛЬ АТОМА. Важливу роль у становлення сучасних наукових уявлень про будову атома та атомного ядра відіграли експериментальні дослідження відомого англійського фізика Е. Резерфорда. Вчений у 1911 р. запропонував своїм співробітникам Г. Гейгеру та Е. Марсдену експериментально перевірити модель атома Дж. Томсона.

За допомогою установки, зображеної на рис. 28.2, вузький потік α -частинок (ядер атома Гелію ${}^4_2\text{He}^{2+}$) спрямовувався на тонку золоту фольгу, за якою розміщувався екран, що фіксував їх попадання спалахами.

Згідно з моделлю Дж. Томсона, високоенергетичні α -частинки не мали б зазнава-

Рис. 28.2.
Схема досліду
Е. Резерфорда

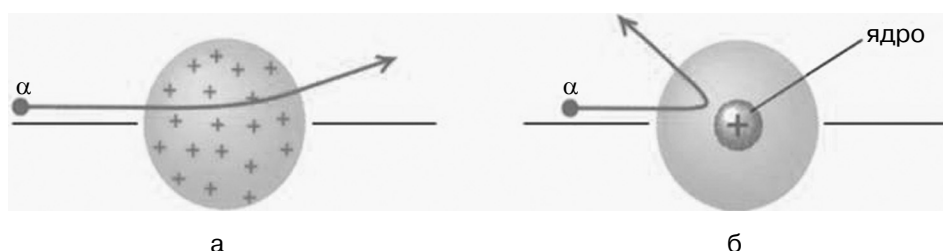
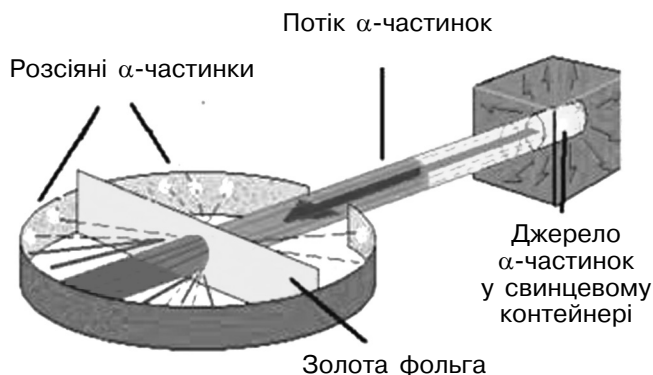


Рис. 28.3. Розсіювання частинок у атомі Томсона (а) та Резерфорда (б)

ти помітного відхилення та розсіюватися на невеликі кути під час проходження крізь тонку фольгу (рис. 28.3, а). Але з'ясувалося, що певна кількість α -частинок зазнає істотного розсіювання, проходячи крізь металеву фольгу (рис. 28.3, б).

Проаналізувавши результати досліду, Е. Резерфорд дійшов висновку, що настільки сильне відхилення α -частинок можливе тільки в тому разі, якщо всередині атома наявне надзвичайно сильне електричне поле, яке створюється зарядом, пов'язаним із великою масою та сконцентрованим у дуже малому об'ємі.

Ґрунтуючись на цьому висновку, Е. Резерфорд запропонував у 1911 р. ядерну планетарну модель атома (рис. 28.4). Згідно з його розрахунками, лінійний розмір ядра атома в десятки тисяч раз менший за розміри атома, що становлять 10^{-10} м. В ядерній моделі атом є системою зарядів, в центрі якої розташоване важке позитивне ядро розмірами порядку 10^{-15} м, в якому зосереджено понад 99,95 % маси всього атома. Навколо ядра обертаються електрони, подібно планетам, які обертаються навколо Сонця.

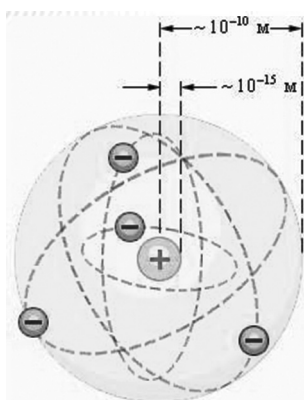


Рис. 28.4.
Ядерна модель атома
Е. Резерфорда



Нільс Бор
(1885—1962),
данський фізик-
теоретик, лауреат
Нобелівської премії з
фізики (1922 р.)

Н. Бор у 1913 р. врахував припущення М. Планка та А. Ейнштейна про те, що випромінювання відбувається порціями і є потоком квантів енергії (фотонів), та доповнив планетарну модель атома положеннями (постулатами), що усували її суперечності з класичною фізикою:

— атоми перебувають у певних стаціонарних станах, у яких вони не випромінюють електромагнітні хвилі;

— під час переходу атома з одного стаціонарного стану в інший він випромінює квант енергії, що дорівнює різниці енергій стаціонарних станів (рис. 28.5).

Модель атома Резерфорда — Бора є правильною й до сьогодні, оскільки становить пряме вираження експериментальних фактів.

У 1924 р. Е. Шредінгер на підставі теорії Л. де Бройля, за якою електрон одночасно виявляє властивості, притаманні частинці та хвилі, математично описав його поведінку в атомі. Так було створено хвильову модель атома (рис. 28.6).

Таким чином, завдяки багаторічній наполегливій праці видатних фізиків та хіміків із різних країн світу, було створено вчення про будову речовини, в основі якого перебувають наукові поняття про атоми та молекули:

атом — *найменша хімічно неподільна, електрично нейтральна частинка матерії, що складається з позитивно зарядженого ядра й негативно заряджених електронів;*

йон — *електронодефіцитний або електрононадлишковий атом чи група атомів;*

молекула — *здатна до самостійного існування, електрично нейтральна частинка речовини, що має її основні хімічні властивості, які визначаються її складом та будовою.*

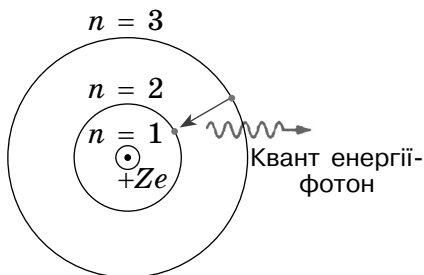


Рис. 28.5. Ядерна планетарна модель атома Бора

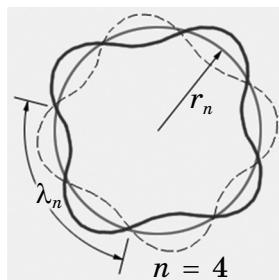


Рис. 28.6. Зображення електронів у вигляді хвилі

! Головне в цьому параграфі

Атомна фізика — розділ фізики, що вивчає будову та властивості атомів та іонів, а також пов'язані з ними процеси.

Ядерна фізика — розділ фізики, що вивчає структуру та властивості атомних ядер, і механізми ядерних реакцій (у тому числі радіоактивний розпад).

Дотепер використовується планетарна модель атома Резерфорда — Бора, оскільки вона є прямим вираженням експериментальних фактів.

Згідно з розрахунками Е. Резерфорда, лінійний розмір ядра атома в десятки тисяч раз менший за розміри атома 10^{-10} м. В ядерній моделі атом становить систему зарядів, у центрі якої розташоване важке позитивне ядро розмірами порядку 10^{-15} м, де зосереджена практично вся маса атома, навколо якого обертаються електрони.

? Запитання для самоперевірки

1. Що вивчає атомна та ядерна фізика?
2. Користуючись рис. 28.2, поясніть дослід Резерфорда.
3. Яку модель атома запропонував Е. Резерфорд?
4. Чому планетарна модель атома досі використовується в науці, а від моделі атома Томсона відмовились?
5. Як відрізняються розміри атома та атомного ядра?
6. Як змінилася б маса атома, якби він втратив усі свої електрони? А як змінилися б його розміри?

Готуємося до виконання навчального проекту

Використовуючи науково-популярні джерела та інформаційно-пошукові системи, підготуйте інформацію на тему: «Історія атомізму».

§ 29. Будова атомного ядра

- Протонно-нейтронна модель ядра атома
- Ізотопи
- Ядерні сили
- *Дефект маси. Енергія зв'язку атомних ядер

ПРОТОННО-НЕЙТРОННА МОДЕЛЬ ЯДРА АТОМА. У 1919 р. Е. Резерфорд виявив у продуктах розщеплення ядер атомів багатьох елементів присутність мікрочастинок — ядер атома водню. Вчений назвав цю частинку протоном і припустив, що протони входять до складу всіх атомних ядер.

Після відкриття протона було висловлено припущення, що ядра атомів складаються з одних протонів. Однак це припущення виявилось хибним, оскільки відношення заряду ядра до його



Дмитро Дмитрович
Іваненко
(1904—1994),
український фізик-
теоретик, автор
протон-нейтронної
моделі атомного ядра

маси не залишається постійним для різних ядер, як це було б, якби до складу ядер входили лише протони. Для важчих ядер це відношення виявляється меншим, ніж для легших, тобто під час переходу до важчих ядер маса ядра зростає швидше, ніж заряд.

Тому було розроблено протонно-електронну гіпотезу будови ядра, відповідно до якої електрони, що входили до ядра, відігравали роль «цементуючого засобу», який утримував протони в ядрі.

У 1930 р. П. Дірак поставив під сумнів наявність електронів усередині ядра. А в 1932 р. Дж. Чедвік експериментально виявив потік електрично нейтральних частинок із масою, близькою до маси протона, які отримали назву нейтрони. У травні того самого року український учений Д. Іваненко першим серед фізиків

запропонував протонно-нейтронну модель атомного ядра: на підставі аналізу експериментальних даних він обґрунтував, що **ядро складається з протонів і нейтронів**.

Д. Іваненко вважав, що нейтрон і протон є елементарними частинками, які можуть переходити один в одного, випускаючи електрон або позитрон. Надалі протон і нейтрон почали розглядатись як два стани однієї частинки — нуклона, й ідея Іваненко стала загальноприйнятою.

Згідно з цією моделлю кількість нуклонів, тобто сума протонів і нейтронів у ядрі атома, дорівнює нуклонному числу атома A ; кількість протонів дорівнює заряду ядра атома Z , кількість нейтронів визначається їх різницею $N = A - Z$.

Таким чином, сьогодні використовується планетарна модель атома з протонно-нейтронною моделлю ядра (рис. 29.1)

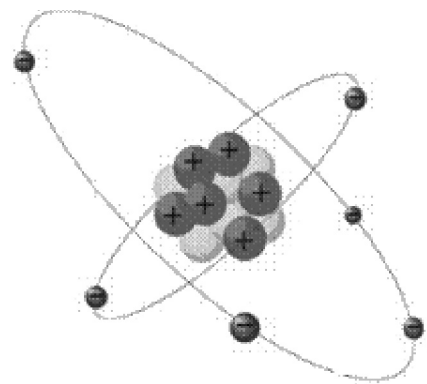


Рис. 29.1. Модель атома
Карбону

ІЗОТОПИ. З курсу хімії вам відомо, що всі хімічні елементи впорядковано у вигляді періодичної системи хімічних елементів Д. І. Менделєєва.

Хімічний елемент — тип атомів, що характеризується певним протонним числом.

У комірках (рис. 29.2) періодичної таблиці розміщено інформацію, яка містить символ елемента та протонне число. Крім того, можуть зазначатися назва та атомна маса елемента. Порядковий номер елемента дорівнює кількості протонів атомного ядра (протонному числу).

Кожен вид атомів, незалежно від належності до конкретного елемента, однозначно описується числом нуклонів (сумою протонів і нейтронів). Тому кількість різновидів атомів перевищує число хімічних елементів. Кожен різновид атомів називається нуклідом.

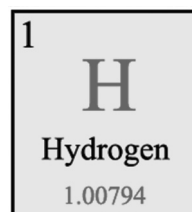


Рис. 29.2. Комірка хімічного елемента Гідрогену в періодичній системі хімічних елементів Д. І. Менделєєва

Нуклід — різновид атомів, що характеризується певним протонним та нуклонним числом. Радіоактивні атоми називають радіонуклідами.

Кількість протонів у ядрі називають протонним числом, яке позначають латинською літерою *Z*. Протонне число збігається з порядковим номером елемента періодичної системи. Загальна кількість нуклонів (протонів та нейтронів) у ядрі називають нуклонним або масовим числом, що позначається літерою *A*.

Різновиди атомів одного й того самого хімічного елемента, що мають певне нуклонне число, називають ізотопами.

В ядерній фізиці ізоотоп хімічного елемента *X* прийнято позначати символом хімічного елемента із зазначенням його нуклонного числа (зліва вгорі) та протонного числа (зліва донизу), тобто у вигляді: A_ZX .

Нуклід позначають також іншим способом: до назви елемента через дефіс приєднується нуклонне число. Наприклад, ізоотоп (нуклід) Сульфору позначається ${}^{32}_{16}\text{S}$ або Сульфур-32. Нуклід — це ширше поняття, ніж ізоотоп, оскільки кожен ізоотоп є нуклідом, але тільки нукліди одного елемента є ізотопами. Наприклад, атом Карбону з 12 нуклонами в ядрі, атом Кобальту з 59 нуклонами і атом Урану з 235 нуклонами — це нукліди, тобто конкретні

види атомів різних елементів, а три різних атома Карбону з 12, 13 і 14 нуклонами в їх ядрах — це ізотопи елемента Карбон.

Назви ізотопів збігаються з назвами відповідного хімічного елемента, за винятком Гідрогену (рис. 29.3), ізотопи якого мають власну назву і символи: Протій — ${}^1_1\text{H}$, Дейтерій — ${}^2_1\text{H}$ або ${}^2_1\text{D}$, Тритій — ${}^3_1\text{H}$ або ${}^3_1\text{T}$.

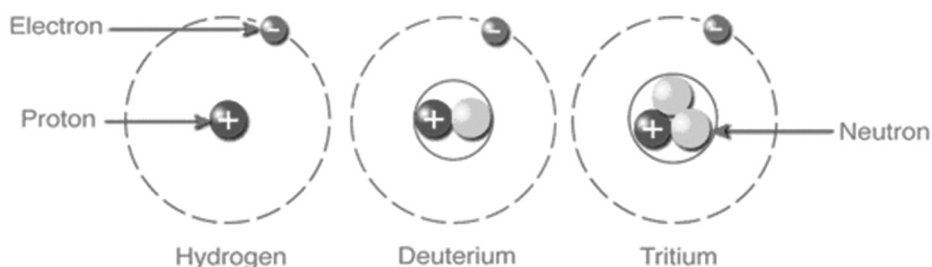


Рис. 29.3. Протонно-нейтронні моделі атомів Гідрогену

Оскільки більшість хімічних елементів існують у природі у вигляді суміші ізотопів, то атомна маса хімічного елемента визначається величиною атомних мас кожного ізотопу з урахуванням їхньої частки в природі. Наприклад, природний Хлор має дев'ять нуклідів, але найпоширенішими є тільки два з них: ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ (75,53 %) та ${}^{37}_{17}\text{Cl}$ (24,47%). Їхні атомні маси відповідно дорівнюють 34,95 а. о. м. та 36,97 а. о. м.. Тоді середня атомна маса Хлору дорівнює

$$A_{\text{Cl}} = \frac{34,98 \cdot 75,53 + 36,97 \cdot 24,47}{75,53 + 24,47} = 35,46 \text{ (а. о. м.)}.$$

Саме ця маса Хлору й вказується у періодичній системі хімічних елементів Д. І. Менделєєва.

ЯДЕРНІ СИЛИ. Ядра більшості хімічних елементів стійкі. Це свідчить про те, що протони та нейтрони утримуються в ядрі певними силами. Що це за сили? Це не можуть бути сили електростатичної взаємодії, оскільки до складу атомних ядер входять протони й сила електростатичного відштовхування, навпаки б, прагнула розщепити ядро. Гравітаційне притягання між протонами в 10^{36} разів менше, ніж електростатичне відштовхування. Отже, в ядрі між нуклонами існує особливий тип взаємодії, яку називають сильною, а сили, які їй відповідають, називають ядерними. Ядерні сили приблизно в 100 разів перевищують значення кулонівських сил, які діють в ядрі між протонами.

Ядерні сили є короткодійними. На відстанях більших за $3 \cdot 10^{-15}$ м, вони практично не діють і різко збільшуються на відстані $2,2 \cdot 10^{-15}$ м. Коли нуклони, зіткнувшись, зближуються на відстані $0,5 \cdot 10^{-15}$ м, ядерні сили відштовхування переважають сили притягання.

У сучасній фізиці загальноприйнятою є теорія, згідно з якою ядерні сили мають обмінний характер. У 1935 р. японський фізик Х. Юкава висунув гіпотезу, що в природі існують частинки масою у 200—300 разів більшою від маси електрона і саме через них здійснюється взаємодія нуклонів. Такі частинки було виявлено експериментально в 1947 р. Вони одержали назву пі-мезонів.

Пі-мезони не входять до складу протонів і нейтронів, а випромінюються та поглинаються ними.



Хідекі Юкава
(1907—1981),
японський фізик-
теоретик, лауреат
Нобелівської премії з
фізики (1949 р.)

***ДЕФЕКТ МАСИ. ЕНЕРГІЯ ЗВ'ЯЗКУ АТОМНИХ ЯДЕР.** Якщо порівняти масу атомного ядра із сумою мас відокремлених нуклонів, які його утворюють, то з'ясується, що вони не збігаються: маса ядра завжди менша за суму мас його складових на величину Δm . Цю величину називають дефектом мас.

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_{\text{я}}.$$

Причина виникнення дефекту мас полягає в тому, що для утворення ядра з вільних протонів і нейтронів потрібно виконати роботу, яка дорівнює енергії зв'язку. Згідно із законом взаємозв'язку маси та енергії, зміна енергії на ΔE супроводжується пропорційною зміною маси системи на Δm :

$$\Delta E = \Delta mc^2, \text{ де } c \text{ — швидкість світла у вакуумі.}$$

Як одиниця маси в атомній та ядерній фізиці використовується атомна одиниця маси ($1,66057 \cdot 10^{-27}$ кг), а як одиниця енергії — 1 МеВ ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж).

! Головне в цьому параграфі

Згідно з протонно-нейтронною моделлю будови кількість нуклонів, тобто сума протонів і нейтронів у ядрі атома, дорівнює нуклонному числу атома A ; кількість протонів дорівнює заряду ядра атома Z , кількість нейтронів визначається їх різницею $N = A - Z$.

Хімічний елемент — тип атомів, що характеризується певним протонним числом.

Нуклід — різновид атомів, що характеризується певним протонним та нуклонним числом. Радіоактивні атоми називають радіонуклідами.

Протонне число — кількість протонів у ядрі. Позначається латинською літерою Z і збігається з порядковим номером елемента періодичної системи.

Нуклонне число (масове число) — загальна кількість нуклонів (протонів та нейтронів) у ядрі, позначається літерою A .

Ізотопи — різновиди атомів одного елемента, що мають певне нуклонне число. Це різновиди атомів одного й того самого хімічного елемента.

В ядерній фізиці ізотоп хімічного елемента X прийнято позначати символом хімічного елемента із зазначенням його нуклонного числа (зліва вгорі) та протонного числа (зліва донизу), тобто у вигляді A_ZX . Нуклід позначають також іншим способом: до назви елемента через дефіс приєднується нуклонне число.

В ядрі між нуклонами існує особливий тип взаємодії, яку називають сильною, а сили, що їй відповідають, називають ядерними. Ядерні сили приблизно в 100 разів перевищують значення кулонівських сил, які діють в ядрі між протонами.

? Запитання для самоперевірки

1. З яких частинок складається атом? Атомне ядро?
2. Як визначити кількість протонів у ядрі? Кількість нейтронів?
3. Який тип взаємодії забезпечує утримання електронів у ядрі атома?
4. Що таке ізотопи? Наведіть приклади.
5. У чому відмінність між термінами «ізотоп» та «нуклід»?
6. Як визначається атомна маса елемента, що вказується біля елемента в періодичній системі елементів Д. І. Менделєєва?
7. * Чому виникає дефект мас? Чим це можна пояснити?

Вправа до § 29

- 1 (с). У ядрі атома міститься 17 протонів. Що це за елемент?
- 2 (с). У ядрі атома Карбону міститься 8 нейтронів та 6 протонів. Скільки електронів у цьому атомі?
- 3 (с). Скільки електронів містить йон Сульфуру ${}^{32}_{16}\text{S}^{2-}$.
- 4 (д). Який склад ядра атома Аргентуму-107, Хлору-37, Радію-226.
- 5 (д). Чим відрізняються ядра ізотопів Урану ${}^{235}_{92}\text{U}$ та ${}^{236}_{92}\text{U}$?
- 6 (в). Визначте масу (в а. о. м. із точністю до цілих чисел) і заряд (в елементарних зарядах) атомів Літію ${}^6_3\text{Li}$ та Феруму ${}^{56}_{26}\text{Fe}$.

§ 30. Радіоактивність

- *Радіоактивність*
- *Радіоактивні випромінювання та їх властивості*
- *Активність радіоактивної речовини. Період піврозпаду*

РАДІОАКТИВНІСТЬ. У лютому 1886 р. професор фізики Паризької політехнічної школи А. Беккерель досліджував здатність різних кристалів випускати під дією сонячного світла промені, подібні до рентгенівських. Учений вважав, що кристали під дією світла випускатимуть промені, які можуть діяти на фотографічні пластинки, загорнуті в чорний папір. Між кристалом та платівкою містився екран, виготовлений із мідних дротинок. Тому після проявлення фотопластинка була засвіченою скрізь, крім ділянок, закритих мідними дротинками.

Серед кристалів, з якими працював А. Беккерель, опинилась сіль Урану $K_2UO_2(SO_4)_2 \cdot 2H_2O$. Оскільки в ці дні погода була хмарною, вчений відклав досліди та сховав фотопластинку в шухляду разом із кристалом уранової солі. Коли минуло кілька днів, фотопластинку проявили. При цьому з'ясувалося, що вона потемніла та є чітке зображення мідного екрана, хоча сіль урану й не опромінювали сонячним світлом.



Антуан Анрі Беккерель (1852—1908), французький фізик, лауреат Нобелівської премії з фізики (1903 р.) та один із першовідкривачів радіоактивності



Марія Склодовська-Кюрі (1867—1934), французький фізик польського походження, лауреат Нобелівської премії з фізики (1903 р.) та хімії (1911 р.)



П'єр Кюрі (1859—1906), французький фізик, один із перших дослідників радіоактивності, лауреат Нобелівської премії з фізики (1903 р.)

А. Беккерель дійшов висновку, що промені, які діяли на фотопластинку випускає Уран. У 1898 р. Марія Склодовська-Кюрі виявила, що подібні промені випускає Торій, а потім вона разом зі своїм чоловіком П'єром Кюрі відкрила Радій. Подружжя Кюрі назвали це явище радіоактивністю, а речовини, здатні випускати таке випромінювання, — радіоактивними.

Радіоактивність — явище спонтанного перетворення нестійких ізотопів хімічного елемента в ізономи іншого хімічного елемента, яке супроводжується випусканням певних частинок.

У 1903 р. А. Беккерель став лауреатом Нобелівської премії з фізики за відкриття спонтанної радіоактивності. Разом із ним цієї премії було удостоєне й подружжя Кюрі за дослідження радіоактивного випромінювання. Марія Склодовська-Кюрі також отримала Нобелівську премію з хімії у 1911 р. за відкриття Радію та Полонію, вивчення властивостей радію.

Відкриття радіоактивності, як і всі визначні відкриття в фізиці, не було випадковим. Йому передували ретельні багаторічні дослідження таких видатних учених, як А. Пуанкаре, І. Пулюй, В. Рентген та інших науковців, які стояли у витоків сучасної фізики.

РАДІОАКТИВНІ ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА ЇХ ВЛАСТИВОСТІ. Під час вивчення фізичної природи радіоактивного випромінювання було з'ясовано, що воно є неоднорідним. У 1899 р. Е. Резерфорд відкрив α - та β -промені, а у 1900 р. французький фізик Пол Вілард відкрив γ -промені, що відрізнялися від α - та β -променів, оскільки не відхилялися у магнітному та електричному полях (рис. 30.1). Детальні дослідження радіоактивного випромінювання дали змогу з'ясувати його природу.

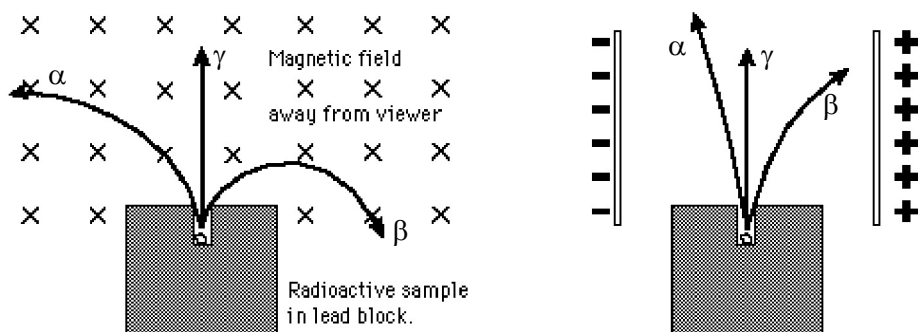


Рис. 30.1. Відхилення радіоактивних променів у магнітному та електричному полях

α -промені — це потік ядер атомів Гелію ${}^4_2\text{He}$ — важких позитивно заряджених частинок масою 4 а. о. м. та зарядом $q = 2e$, швидкість яких приблизно 10 000 км/с. Пролітаючи крізь речовину, α -частинки поступово втрачають енергію, іонізуючи молекули речовини, і, врешті-решт, зупиняються. За час свого руху одна α -частинка здатна іонізувати сотні тисяч пар йонів. У повітрі довжина вільного пробігу α -частинок становить від 2 до 12 см, а у твердих речовинах менше міліметра. Тому їх легко зупинити аркушем паперу.

β -промені — потік швидких електронів. Швидкості електронів можуть наближатися до швидкості світла. Внаслідок малої маси β -частинки активно розсіюються в речовині іонізуючи її. Щоб затримати β -частинку, досить листа металу товщиною 3 мм.

Особливо небезпечними α - та β -частинки є в разі потрапляння всередину організму людини чи тварини — у легені, шлунок та шкіру.

γ -промені — високоенергетичне електромагнітне випромінювання. Взаємодіючи з електронними оболонками атомів, γ -промені сприяють утворенню швидких електронів, які іонізують середовище. Для їх поглинання потрібен шар свинцю товщиною 20 см.

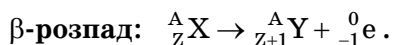
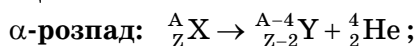


Рис. 30.2.
Знак безпеки.
Небезпечно.
Радіоактивні
матеріали

Саме випускання цих променів й називають радіацією. Радіоактивні речовини й ділянки території, де є небезпека потрапити під вплив радіоактивного випромінювання, позначаються спеціальним знаком безпеки (рис. 30.2). Радіоактивне випромінювання не фіксується органами чуття людини, проте відомо, що воно може призвести до згубних наслідків.

Загальна кількість нуклонів у будь-якому радіоактивному розпаді залишається незмінною — нуклони не зникають і не виникають, відбувається їх перетворення.

Радіоактивні перетворення ядер підпорядковуються правилам зміщення



Рівняння реакції α -розпаду Урану-238 можна записати таким чином: ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$. Торій-234 також радіоактивний і знає β -розпаду ${}^{234}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^{234}_{91}\text{Pa} + {}^0_{-1}\text{e}$.

АКТИВНІСТЬ РАДІОАКТИВНОЇ РЕЧОВИНИ. ПЕРІОД ПІВРОЗПАДУ. З практичного погляду важливою характеристикою процесу радіоактивного розпаду є швидкість, з якою розпадається певна радіоактивна речовина. Наявність радіоактивних речовин у середовищі часто буває дуже малою. Оскільки швидкість розпаду радіоактивних ізотопів різна, то однакові за масою радіонукліди мають різну активність. Чим більше ядер розпадається за одиницю часу, тим більша активність.

Активність радіоактивної речовини — фізична величина, яка характеризує інтенсивність радіоактивного розпаду й чисельно дорівнює кількості розпадів, що відбуваються в певній радіоактивній речовині за одиницю часу.

Активність позначають латинською літерою A . Одиницею активності в СІ є бекерель (Бк): $[A] = \text{Бк}$.

1 Бк — активність радіонукліда, в якому за одну секунду відбувається один розпад.

Оскільки 1 Бк — дуже мала величина, то в ядерній фізиці часто використовують позасистемну одиницею активності — *кюри* (Ки).

1 Ки відповідає активності 1 г радію ($1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$).

Розпад того чи іншого ядра в певний момент часу є випадковою подією. Не можна сказати, що станеться саме з цим ядром. Явище радіоактивного розпаду має ймовірнісний характер, і який саме атом розпадеться в конкретний момент часу невідомо. Але для великої кількості атомів статистично розпадається половина за час періоду піврозпаду.

Для кожної радіоактивної речовини період піврозпаду є сталою величиною. За одиницю часу з наявної кількості атомів завжди розпадається певна їх частина, яку називають сталою радіоактивного розпаду даного радіоактивного елемента.

Стала радіоактивного розпаду радіонукліда — фізична величина, що характеризує середній час життя атома радіонукліда й чисельно дорівнює частці атомів, що розпадається за одиницю часу, із загальної кількості атомів.

Сталу радіоактивного розпаду позначають малою грецькою літерою λ . Її значення для різних радіоактивних елементів наведено в табл. 30.1.

Таблиця 30.1

Стала радіоактивного розпаду окремих радіонуклідів

Радіонуклід	Стала радіоактивного розпаду λ , $\frac{1}{\text{с}}$
Йод-131	$9,98 \cdot 10^{-7}$
Кобальт-60	$4,15 \cdot 10^{-9}$
Плутоній-239	$9,01 \cdot 10^{-13}$
Радій-226	$1,37 \cdot 10^{-11}$
Радон-220	$1,2 \cdot 10^{-2}$
Уран-235	$3,14 \cdot 10^{-17}$
Цезій-137	$7,28 \cdot 10^{-10}$

Кількість речовини, ядра атомів якої розпадаються, весь час змінюється. Цей процес характеризується *періодом піврозпаду* (T) речовини.

Період піврозпаду — фізична величина, що характеризує швидкість розпаду радіонукліда й чисельно дорівнює часу, протягом якого розпадається половина наявної кількості ядер певного радіонукліда.

Якщо в початковий момент часу ($t = 0$) було N_0 радіоактивних ядер (рис. 30.3), то за період піврозпаду T їх кількість стане вдвічі меншою, тобто $N_0/2$. Ще через такий самий час T їх уже буде $N_0/4$ тощо. Відповідно, за n періодів піврозпаду $n = \frac{t}{T}$ радіоактивними залишаться тільки $N_0/(2^n)$ атомів.

Період піврозпаду, активність та стала радіоактивного розпаду радіонукліда пов'язані співвідношеннями:

$$A = \lambda N; \quad \lambda = \frac{0,69}{T}.$$

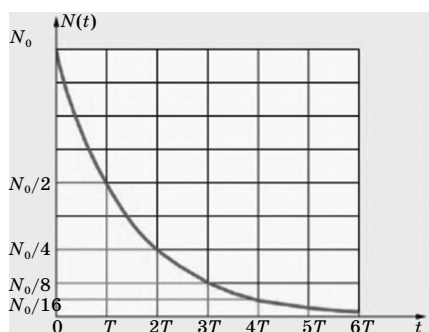


Рис. 30.3. Графічне відображення закону радіоактивного розпаду

! Головне в цьому параграфі

Радіоактивність — явище спонтанного перетворення нестійких ізотопів хімічного елемента в ізотопи іншого хімічного елемента, яке супроводжується випусканням певних частинок.

α -промені — потік ядер атомів Гелію ${}^4_2\text{He}$, швидкість яких близько 10 000 км/с.

β -промені — потік електронів з швидкостями, що можуть наближатися до швидкості світла.

γ -промені — високоенергетичне електромагнітне випромінювання.

Радіоактивні перетворення ядер підкорюються правилам зміщення

α -розпад: ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_2^4\text{He}$;

β -розпад: ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY + {}_{-1}^0e$.

Період піврозпаду — фізична величина, що характеризує швидкість розпаду радіонукліда й чисельно дорівнює часу, протягом якого розпадається половина наявної кількості ядер певного радіонукліда.

Активність радіоактивної речовини — фізична величина, яка характеризує інтенсивність радіоактивного розпаду й чисельно дорівнює кількості розпадів, що відбуваються в певній радіоактивній речовині за одиницю часу.

Активність позначають малою латинською літерою A . Одиницю активності в СІ є бекерель (Бк): $[A] = \text{Бк}$.

1 Бк — активність радіонукліда, в якому за одну секунду відбувається один розпад.

Період піврозпаду, активність та стала радіоактивного розпаду радіонукліда пов'язані співвідношеннями: $A = \lambda N$; $\lambda = \frac{0,69}{T}$.

? Запитання для самоперевірки

1. Що є причиною радіоактивного випромінювання? Яка природа α -, β -, γ -випромінювання?
2. Поясніть, чому радіоактивне випромінювання в електростатичному та магнітному полі розкладається на складові (див. рис. 30.1)?
3. Навіщо радіоактивні речовини маркують спеціальним знаком безпеки?
4. Чому не визначають час повного розпаду всіх ядер радіонуклідів?
5. Чи змінюється з часом активність радіоактивного зразка?

Вправа до § 30

- 1 (с). Складіть рівняння радіоактивного α -розпаду Полонію-218, Радію-226.
- 2 (с). Складіть рівняння радіоактивного β -розпаду Бісмуту-210, Тритію.
- 3 (д). За який час у препараті з радіоактивністю 20 МБк розпадеться $3 \cdot 10^7$ ядер.

- 4 (д). У радіоактивному зразку міститься 0,5 моль Йоду-131. Визначте активність зразку.
- 5 (д). За який час активність зразка Цезію-137 зменшується в чотири рази?
- 6 (д). Яка маса Урану-235 у радіоактивному зразку активністю 7 кБк?
- 7 (в). Яка активність зразка масою 13,7 кг, що містить 5 % Цезію-137.
- 8 (в). Користуючись матеріалом підручника, заповніть таблицю характеристик радіоактивного випромінювання

Тип	Символ	Фізична природа	Заряд	Як захиститись	Як взаємодіє з магнітним полем
Альфа					
Бета					
Гамма					

§ 31. Йонізаційна дія радіоактивного випромінювання. Природний радіоактивний фон

- Йонізаційна дія радіоактивного випромінювання
- Природний радіоактивний фон

ЙОНІЗАЦІЙНА ДІЯ РАДІОАКТИВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ.

Всі види радіоактивного випромінювання, поширюючись у середовищі, іонізують його і тому їх називають іонізуючим випромінюванням.

Іонізуючим випромінюванням називається будь-яке випромінювання, взаємодія якого з речовиною зумовлює утворення йонів різних знаків.

Під час проходження крізь речовину α -частинки майже повністю віддають свою енергію в результаті електростатичної взаємодії з електронними оболонками атомів. Енергія α -частинок надходить на іонізацію та збудження атомів поглинаючого середовища (іонізаційні втрати). Цей процес може розглядатись як зіткнення α -частинки з електронами, за якого α -частинка втрачає частину своєї енергії.

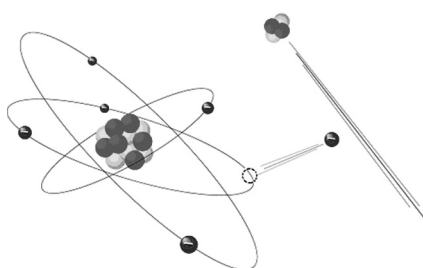


Рис. 31.1. Йонізація речовини α -частинкою

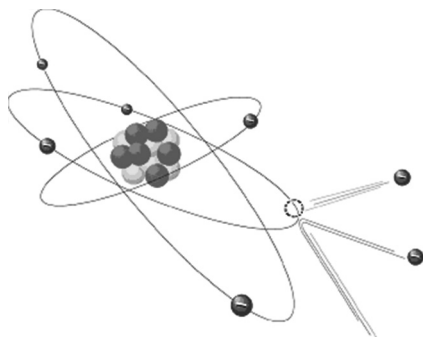


Рис. 31.2. Йонізація речовини β -частинкою

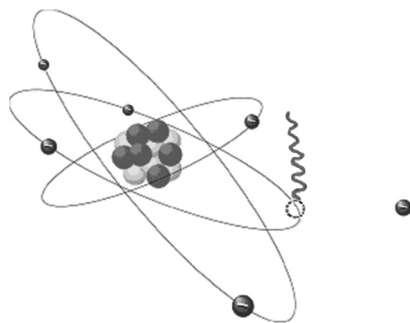


Рис. 31.3. Йонізація речовини γ -променями

Потік α -частинок — це потужне іонізуюче випромінювання. Зіткнення з електронами практично не змінюють траєкторію руху важкої α -частинки (маса дорівнює 4 а. о. м.), тому можна вважати, що вона рухається практично прямолінійно (рис. 31.1).

Імовірність взаємодії β -частинок з речовиною менша, ніж для α -частинок, оскільки β -частинки мають удвічі менший заряд і приблизно в 7300 разів меншу масу. Під час взаємодії β -частинок із електронами атомів маси частинок, що співударяються, можна вважати однаковими, тому β -частинки під час зіткнення відхиляються набагато сильніше, внаслідок чого при гальмуванні траєкторія руху β -частинок має вигляд ламаної лінії (рис. 31.2).

Енергія β -частинки, втрачена під час зіткнення, передається орбітальному електрону, що веде до збудження або іонізації атома. При іонізації β -частинки вибивають орбітальні електрони, які можуть створювати вторинну іонізацію. Повна іонізація дорівнює сумі первинної і вторинної іонізації. На 1 мкм шляху в речовині β -частинка створює декілька сотень пар іонів.

Взаємодія γ -променів із речовиною істотно відрізняється від взаємодії α - і β -променів. Тоді як заряджені частинки передають свою енергію електронам атомів при багатократних процесах зіткнення, γ -промені віддають усю або принаймні велику частину своєї енергії за однократної взаємодії (рис. 31.3). Проте ймовірність цієї взаємодії дуже низька, тому γ -промені мають набагато більшу проникну здатність, ніж заряджені частинки.

ПРИРОДНИЙ РАДІАЦІЙНИЙ ФОН. Іонізуючі випромінювання існували на Землі задовго до зародження на ній життя. Радіоактивні матеріали увійшли до складу нашої планети із початку її формування, самого її народження. Природний радіаційний фон утворюється з космічної радіації (протони, альфа-частинки, гамма-промені), випромінювання природних радіоактивних речовин, наявних у ґрунті, і ви-

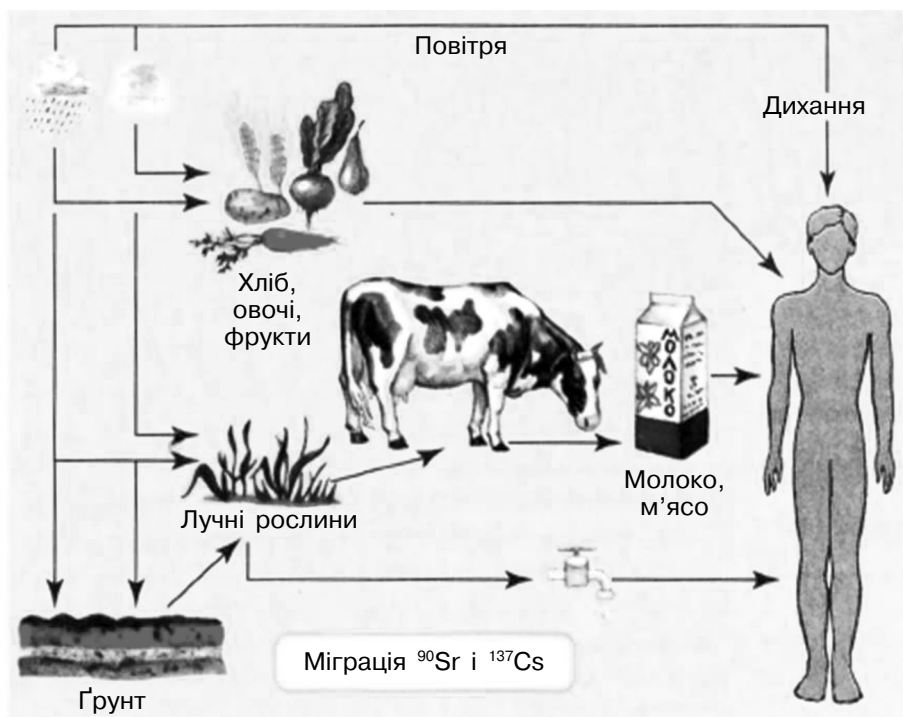


Рис. 31.4. Надходження радіоактивних продуктів до організму людини

промінювання радіоактивних речовин (також природних), що потрапляють до нашого в організму із повітрям, їжею, водою (рис. 31.4).

Радіаційний фон — радіоактивне випромінювання від техногенних та природних джерел.

Життя на Землі виникло й розвивається в умовах радіоактивного опромінювання, якого неможливо уникнути. На Землі чимало місць із підвищеним радіаційним фоном. Це, як правило, родовища урану, радіоактивних сланців, торієві піски, радонові мінеральні джерела. В Україні до таких місць належать міста Хмельник, Миронівка, Жовті Води.

Будь-яка людина трішки «радіоактивна»: у тканинах людського тіла одним із головних джерел природної радіації є Калій-40 та Рубідій-87, причому способу позбутися їх не існує. Сучасна людина до 80 % часу проводить в приміщеннях — удома або на роботі, де й отримує основну дозу радіації. Хоча будівлі захищають від випромінювань ззовні, у будівельних матеріалах (бетон, цегла тощо), з яких вони побудовані, є природні радіонукліди.

Зверніть увагу на те, що природний радіоактивний фон впливає на розвиток життя на Землі і є невід'ємною частиною існу-

вання біосфери. В умовах радіаційного фону відбуваються поділ клітин та одноклітинних організмів, розвиток ембріонів комах, ріс і розвиток рослин і тварин. Таким чином, без природної радіації неможливо уявити функціонування живих організмів.

Крім природного радіаційного фону, вирізняють так званий технологічно змінений природний радіаційний фон. Господарська діяльність (наприклад, видобуток і спалювання кам'яного вугілля, нафти, газу, інших паливних копалин, використання фосфатних добрив, видобуток і збагачення руд тощо), у процесі якої відбуваються перерозподіл і зміна концентрації природних радіонуклідів, призводить до помітних змін природного радіаційного фону.

Іноді технологічні процеси можуть зменшувати дозу випромінювання, зумовлену природним радіаційним фоном. Наприклад, під час очищення води відкритих водоймищ, призначеної для централізованого водопостачання, помітно зменшується концентрація в ній радію, урану та інших природних, а також штучних радіонуклідів.

! Головне в цьому параграфі

Іонізуючим випромінюванням називається кожне випромінювання, взаємодія якого з речовиною зумовлює утворення йонів різних знаків.

α -частинки майже повністю віддають свою енергію в результаті електростатичної взаємодії з електронними оболонками атомів. Енергія α -частинок надходить на іонізацію і збудження атомів поглинаючого середовища. Потік α -частинок — це потужне іонізуюче випромінювання.

β -частинки під час зіткнення віддають свою енергію орбітальному електрону, що зумовлює збудження або іонізацію атома.

Тоді як заряджені частинки передають свою енергію електронам атомів при багатократних процесах зіткнення, γ -промені віддають усю або принаймні велику частину своєї енергії за однократною взаємодією.

Радіаційний фон — радіоактивне випромінювання від техногенних та природних джерел.

? Запитання для самоперевірки

1. Що називають іонізуючим випромінюванням?
2. Які особливості іонізаційної дії різних видів радіаційного випромінювання?
3. Чи однаковий природний радіаційний фон у різній місцевості?
4. Де в Україні наявні території з підвищеним радіаційним фоном? Чим це зумовлено?
5. Як людська діяльність змінила природний радіаційний фон? Які чинники впливають на ці зміни?

§ 32. Біологічна дія радіоактивного випромінювання. Захист від випромінювань

- *Біологічна дія радіоактивного випромінювання*
- *Дозиметри. Методи захисту від впливу радіоактивного випромінювання*
- *Використання радіоактивних ізотопів*

БІОЛОГІЧНА ДІЯ РАДІОАКТИВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ.

Особливо небезпечні для людини радіонукліди, що потрапили всередину організму, оскільки в такому разі ні одяг, ні шкіра не виконують своїх захисних функцій. В організмі радіонукліди опромінюють різні органи й тканини.

Будь-який вид іонізуючих випромінювань спричиняє біологічні зміни в живому організмі під час як зовнішнього (джерело перебуває поза організмом), так і внутрішнього (радіоактивні речовини, тобто частинки потрапляють усередину організму з їжею, через органи дихання) опромінювання. Основний механізм біологічної дії випромінювання полягає у процесі іонізації атомів і молекул живої матерії, зокрема молекул води, що містяться в клітинах.

Як діє радіація на людину і довкілля? Радіація справді небезпечна: великі дози радіації вбивають клітини організму, зупиняють їх поділ, пригнічують низку біохімічних процесів, що перебувають в основі життєдіяльності, пошкоджують структуру ДНК і тим самим порушують генетичний код та позбавляють клітину інформації, на якій ґрунтується її життєдіяльність. Водночас малі дози радіації викликають ракові захворювання й сприяють генетичним змінам.

Біологічну дію справляє лише поглинута речовиною частина випромінювання. Тобто всі наступні ефекти взаємодії випромінювання з речовиною визначаються лише кількістю енергії, поглинутої певним об'ємом речовини, — поглинутою дозою випромінювання.

У випадку малих доз іонізуючої радіації може спостерігатися феномен відновлення структури та функцій пошкоджених клітин. Таким чином, слабкі впливи радіації на живу систему можуть викликати стимулюючий ефект її розвитку, тоді як великі — завдають значної шкоди.

Проте небезпеку становлять зовсім не ті джерела радіації, про які найбільше говорять. Радіаційний фон, пов'язаний з розвитком атомної енергетики, незначний, істотну частину опромінювання живі організми отримують від природних джерел радіації: з космосу та від радіоактивних речовин, що знаходяться в земній

корі, від застосування рентгенівських променів у медицині, під час польоту на літаку, від кам'яного вугілля, яке спалюється у великих обсягах котельнями, тощо.

ДОЗИМЕТРИ. МЕТОДИ ЗАХИСТУ ВІД ВПЛИВУ РАДІОАКТИВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ. Практично всі методи спостереження та реєстрації радіоактивних випромінювань і частинок ґрунтуються на їхній здатності йонізувати та збуджувати атоми середовища. Заряджені частинки зумовлюють ці процеси безпосередньо, а окремі частинки виявляються за іонізацією, спричиненою ними.

Прилади, що використовуються для реєстрації та дослідження радіоактивних випромінювань і частинок, поділяють на дві групи:

1) прилади, що дають змогу реєструвати проходження частинок крізь певну ділянку простору і в певних випадках визначати її характеристики, наприклад енергію (сцинтиляційні лічильники, імпульсна іонізаційна камера, газорозрядний лічильник, напівпровідниковий лічильник тощо);

2) прилади, що дають можливість спостерігати, реєструвати (наприклад, фотографувати) сліди (треки) частинок у речовині (камера Вільсона, дифузійна камера, бульбашкова камера, ядерні фотоемульсії).

Дозиметр — прилад для вимірювання потужності дози іонізуючого випромінювання довкілля, яке реєструється за певний проміжок часу

Сучасні дозиметри використовуються для екологічних досліджень довкілля, для здійснення радіометричного контролю на підприємствах, контролю радіаційного стану жител, будівель і споруд, прилеглих до них територій, предметів побуту, одягу, транспорту, поверхні ґрунту на приватних подвір'ях (рис. 32.1). Під час використання дозиметрів слід чітко дотримуватись інструкцій виробника.



Рис. 32.1. Дозиметри

Проведення вимірювань для встановлення параметрів радіаційної обстановки називається **дозиметрією**.

Захист від іонізуючих випромінювань може здійснюватися таким чином:

- використання джерел із мінімальним випромінюванням завдяки переходу на менш активні джерела, зниження кількості ізотопу;
- скорочення часу роботи з джерелом іонізуючого випромінювання;
- віддалення робочого місця від джерела іонізуючого випромінювання;
- екранування джерела іонізуючого випромінювання. Екрани можуть бути пересувні або стаціонарні, призначені для поглинання або послаблення іонізуючого випромінювання.
- застосування індивідуальних засобів захисту органів дихання, шкірних покривів і слизових оболонок (рис. 32.2);
- дозиметричний контроль зовнішнього середовища і продуктів харчування.



Рис. 32.2. Дозиметричний контроль середовища

ВИКОРИСТАННЯ РАДІОАКТИВНИХ ІЗОТОПІВ. Виявляється, що радіоактивні елементи можуть бути й корисними. Радіоактивні ізотопи широко використовуються в різних галузях науки і техніки. Зокрема, у медицині є метод «мічених атомів», застосований із метою дослідження обміну речовин в організмах та діагностики багатьох захворювань. Ізотопи вводять в організм людини в малих кількостях (безпечних для здоров'я), не здатних спричинити жодних патологічних змін. За допомогою крові вони нерівномірно розподіляються по всьому організму. Випромінювання, які виникають під час розпаду ізотопу, реєструються приладами (спеціальними лічильниками частинок, фотографуванням), розташованими поблизу тіла людини. У результаті можна отримати зображення потрібного внутрішнього органу (рис. 32.3). За цим зображенням роблять висновки про розміри та форму цього органу, про підвищену або знижену концентрацію ізотопу в різних його частинах. Можна також оцінити функціональний стан внутрішніх органів за швидкістю накопичення й виведення ними радіоізотопу.

У медицині радіоактивні ізотопи використовуються не лише для діагностики, а й для лікування певних захворювань, наприклад, ракових пухлин, базедової хвороби тощо. Оскільки доза радіоізотопів незначна, променева дія на організм під час радіа-

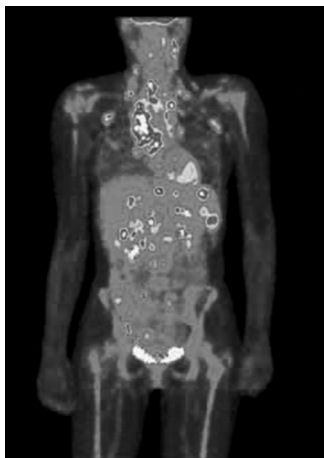


Рис. 32.3. Використання ізоотопів у медицині

ційної діагностики та лікування не становить небезпеки для пацієнтів.

Широко застосовуються радіоактивні ізоотопи й у сільському господарстві. Опромінювання насіння рослин невеликими дозами гамма-променів від радіоактивних препаратів зумовлює помітне збільшення врожайності.

Великі дози радіації спричиняють мутації в рослин і мікроорганізмів, що в окремих випадках призводить до появи мутантів із новими цікавими властивостями. γ -випромінювання радіоактивних ізоотопів використовується також для боротьби зі шкідливими комахами і для консервації харчових продуктів.

Окремі радіоактивні ізоотопи можна використовувати для визначення віку різних копалин (радіаційна хронометрія). Найбільш поширеним і ефективним є метод радіаційної хронометрії, що ґрунтується на радіоактивності органічних речовин, зумовлених Карбоном-14. Таким методом визначено вік єгипетських мумій, залишків доісторичних кострищ тощо.

Використання ізоотопів у біології зумовило перегляд уявлень про природу фотосинтезу, а також про механізми, що забезпечують засвоєння рослинами неорганічних речовин карбонатів, нітратів, фосфатів тощо. За допомогою ізоотопів вивчено переміщення популяцій у біосфері й окремих особливостей усередині певної популяції, міграції мікробів, а також деяких сполук усередині організму. Вводячи в організми з їжею або шляхом ін'єкцій мітку, вдалося вивчити швидкість і шляхи міграції багатьох комах (москітів, мух, сарани), птахів, гризунів та інших дрібних тварин й отримати дані про чисельність їх популяцій.

! Головне в цьому параграфі

Радіаційний фон — радіоактивне випромінювання від техногенних та природних джерел.

Радіація справді небезпечна: великі дози радіації вбивають клітини організму, зупиняють їх поділ, пригнічують низку біохімічних процесів, що перебувають в основі життєдіяльності, пошкоджують структуру ДНК і тим самим порушують генетичний код і позбавляють клітину інформації, на якій ґрунтується її життєдіяльність. Водночас малі дози радіації спричиняють ракові захворювання й сприяють генетичним змінам.

Радіоактивні ізоотопи широко використовуються в біології, біохімії, медицині, тваринництві та рослинництві. Метод «мічених атомів» застосовують для визначення механізмів хімічних процесів у живих організмах.

? Запитання для самоперевірки

1. Якою є біологічна дія радіаційного випромінювання?
2. З якою метою й за допомогою яких приладів проводиться радіологічний контроль місцевості?
3. Які джерела радіаційного забруднення довкілля вам відомі?
4. Де застосовується метод мічених атомів?
5. З якою метою використовують ізотопи в сільському господарстві?
6. Від якого виду радіоактивного випромінювання захищають індивідуальні засоби захисту (див. рис. 32.2)?

Готуємося до виконання навчального проекту

1. Використовуючи побутовий дозиметр-радіометр, дослідіть продукти харчування, що вживаються в їжу. Поміркуй, з якою метою на продуктовому ринку проводиться радіологічний контроль продуктів харчування.

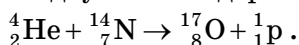
2. За допомогою дозиметра-радіометра визначте, які з будівельних матеріалів, використовуваних у вашому регіоні, найрадіоактивніші. Поміркуйте, чи безпечні ці рівні радіації для людини.

3. Підготуйте інформацію про різні дози радіації та їхній вплив на організм людини. Знайдіть інформацію в літературі або мережі Інтернеті про значення допустимих рівнів вмісту різних радіонуклідів у харчових продуктах і питній воді.

§ 33. Ядерна реакція. Ядерний реактор

- *Ядерна реакція*
- *Поділ важких ядер*
- *Ланцюгова ядерна реакція поділу. Ядерний реактор*

ЯДЕРНА РЕАКЦІЯ. Внаслідок ядерних реакцій можуть утворюватися нові радіоактивні ізотопи, яких немає на Землі у природних умовах. Перша ядерна реакція була здійснена Е. Резерфордом у 1919 р. під час бомбардування атомів Нітрогену α -частинками. Під час зіткнення частинок відбувалась ядерна реакція за схемою:



Ядерна реакція — це процес перебудови атомного ядра під впливом γ -кванта або зарядженої чи нейтральної частинки, що супроводжується утворенням нового ядра і нової частинки чи γ -кванта.

В основі ядерних реакцій, як і в основі хімічних перетворень, перебувають закони збереження маси та енергії. Тому під час запису ядерних реакцій треба враховувати, щоб сума зарядів (нижні індекси) реагентів та продуктів реакції і сумарна маса частинок (верхні індекси) до і після реакції були однаковими.

Ядерні реакції можуть відбуватися спонтанно або під час бомбардування речовини швидкими частинками. Спонтанні ядерні перетворення є причиною природної радіоактивності. Як і хімічні, ядерні реакції можуть бути ендотермічними й екзотермічними.

ПОДІЛ ВАЖКИХ ЯДЕР. У 1938 р. було встановлено, що під час бомбардування урану нейтронами виникають елементи середньої частини періодичної системи — радіоактивні ізотопи Барію та Криптонію. Це означало, що частина ядер Урану ділиться на два великі уламки з виділенням двох — трьох нейтронів та енергії 200 МеВ.

Ядро Урану-235 має форму кулі (рис. 33.1). Поглинувши нейтрон, ядро збуджується і починає деформуватися. Воно розтягується з одного боку в інший доти, доки кулонівські сили відштовхування між протонами не почнуть переважати над ядерними силами притягання. Після цього ядро розривається на дві частини й уламки розлітаються зі швидкістю в $1/30$ швидкості світла.

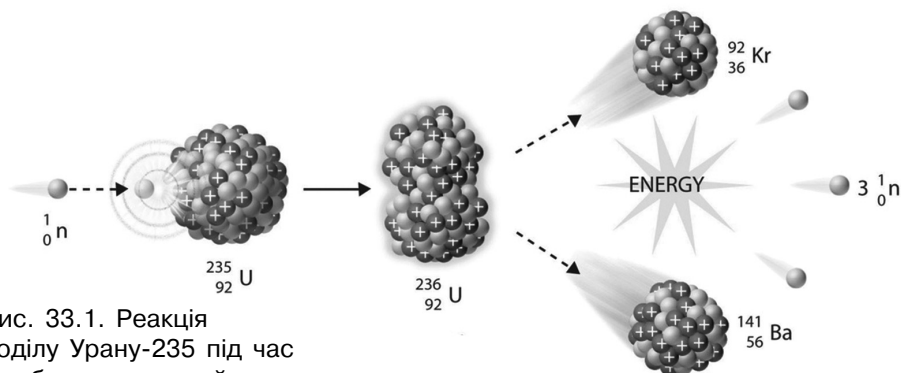


Рис. 33.1. Реакція поділу Урану-235 під час бомбардування нейтронами

Під час поділу ядра утворюються ще два або три нейтрони. Поява нейтронів пояснюється тим, що число нейтронів в уламках виявляється більшим, ніж це допустимо. Уламки, які мають величезну швидкість, розлітаються і гальмуються навколишнім середовищем. Кінетична енергія уламків перетворюється на внутрішню енергію середовища, яке нагрівається. Таким чином, поділ ядер урану супроводжується виділенням великої теплової енергії.

ЛАНЦЮГОВА ЯДЕРНА РЕАКЦІЯ. ЯДЕРНИЙ РЕАКТОР. Під час поділу одного ядра урану нейтрони, що утворилися, можуть зумовити поділ інших його ядер, при цьому число нейтронів на-ростає лавиноподібно (рис. 33.2).

Ланцюговою реакцією називають процес, у якому одна проведена реакція спричиняє подальші реакції такого са-мого типу.

У природі ізотопи Урану-235 становлять лише 0,7 % усього запасу урану, проте саме вони придатні для проведення ланцюго-вої реакції, оскільки діляться під впливом повільних (теплових) нейтронів. Ядра Урану-238, що становить 99,3 % уранової руди, можуть ділитися лише під впливом нейтронів великої енергії.

Відношення числа нейтронів, що утворилися, в одному поко-лінні поділу до числа нейтронів у попередньому поколінні поді-

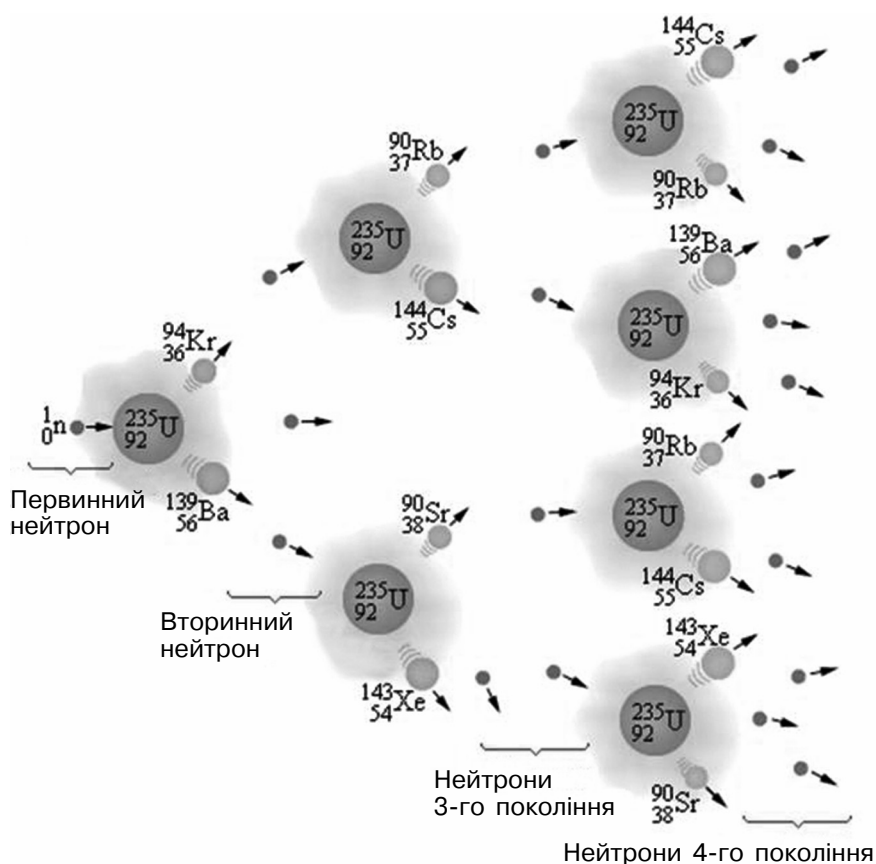


Рис. 33.2. Картина перших трьох поколінь ланцюгової реакції поділу Урану-235

лу називається *коефіцієнтом розмноження нейтронів (k)*. При $k < 1$ реакція згасає, а при $k > 1$ інтенсивність реакції наростає. Коефіцієнт розмноження визначається не лише числом нейтронів, що утворюються в кожному елементарному акті, а й умовами, в яких протікає реакція, — частина нейтронів може поглинатися іншими ядрами або виходити із зони реакції.

Нейтрони, що звільнилися під час поділу ядер Урану-235, здатні викликати поділ лише ядер того самого урану, на частку якого в природному урані припадає, як ми знаємо, лише 0,7 %. Така концентрація є недостатньою для початку ланцюгової реакції. Ланцюгова реакція в урані з підвищеним вмістом U-235 може розвиватися тільки тоді, коли маса урану перевершує так звану *критичну масу*. У невеликих шматках урану більшість нейтронів, не потрапивши в жодне ядро, вилітає назовні. Для хімічно чистого Урану-235 критична маса становить близько 50 кг. Саме ланцюгова реакція поділу ядер Урану стала основою першого покоління ядерної зброї (рис. 33.3).

Ядерна зброя — зброя масового ураження вибухової дії, побудована на використанні ядерної енергії, що вивільняється під час ланцюгової ядерної реакції розщеплення важких ядер.

Ядерна енергія поділу важких ядер може використовуватися і в мирних цілях, наприклад, для виробництва електричної енергії. Це особливо актуально, оскільки запаси традиційного палива на Землі обмежені. За прогнозами спеціалістів, запаси нафти та газу



Рис. 33.3. Випробування ядерної зброї. Вибух «Бейкер», потужність — 23 000 т у тротиловому еквіваленті, 25 червня 1946 р.

будуть вичерпані приблизно за століття, а запаси вугілля — за 300—500 років. Тому одним із важливих напрямів фізичних досліджень є розвиток ядерної енергетики, проектування, створення та обслуговування ядерних реакторів.

Ядерний реактор — пристрій, у якому підтримується керована реакція ділення ядер.

Перший ядерний реактор у світі був побудований у 1942 р. у США під керівництвом Е. Фермі. Схему ядерного реактора на повільних нейтронах наведено на рис. 33.4.

Ядерна реакція протікає в активній зоні реактору. Вона заповнена уповільнювачем нейтронів і пронизана стрижнями, що містять збагачену суміш ізотопів урану з підвищеним вмістом Урану-235 (до 3 %). У активну зону вводяться також регулюючі стрижні, що містять Кадмій або Бор, які інтенсивно поглинають нейтрони. Введення стрижнів у активну зону дає змогу керувати швидкістю ланцюгової реакції і витримувати $k = 1$. Для збільшення кількості нейтронів у активній зоні її оточують відбивачем нейтронів.

Оскільки ядерний реактор є потужним джерелом нейтронів і γ -випромінювання, у ньому передбачений *радіаційний захист*. Активна зона охолоджується за допомогою прокачування *теплоносія*, у ролі якого може застосовуватися вода або метал із низькою температурою плавлення (наприклад, натрій, що має температуру плавлення 98 °C). Теплоносій також відводить тепло з активної зони. Замкнений контур, по якому теплоносій перекачується помпою до парогенератора і назад в активну зону реактора, становить *перший тепловий контур* атомної електростанції. Для уповільнення нейтронів у ядерних реакторах використовується спеціальний *сповільнювач*, важка вода. Також хорошим уповільнювачем нейтронів є графіт, ядра якого не поглинають нейтронів.

Перший ядерний реактор в Україні (ВВР-М) було запущено 12 лютого 1960 р в Інституті ядерних досліджень НАН України (рис. 33.5). Сьогодні це одна з провідних науково-дослідних установ світу, науковці якої здій-

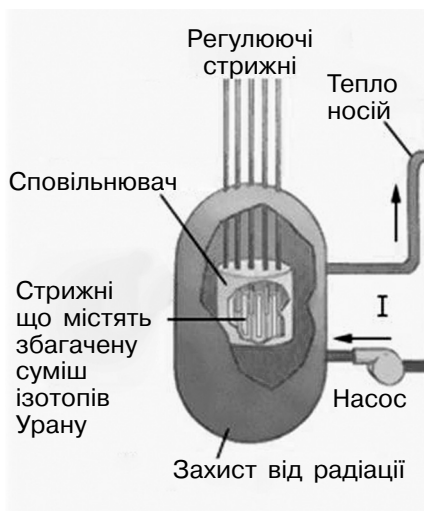


Рис. 33.4. Схема будови ядерного реактора



Рис. 33.5. Дослідницький ядерний реактор ВВР-М у Інституті ядерних досліджень НАН України

снюють теоретичні та експериментальні дослідження з фізики атома та атомного ядра.

Для розвитку атомної енергетики важливе значення мають ядерні реактори, що працюють без уповільнювача на швидких нейтронах. Перевага реакторів на швидких нейтронах полягає в тому, що під час їхньої роботи ядра Урану-238, поглинаючи нейтрони, перетворюються на ядра Плутонію, які потім можна використати як ядерне паливо. Технологічна схема енергоблоків

із реактором ВВЕР (водо-водяний енергетичний реактор), що використовується на АЕС України, має два контури (рис. 33.6).

Перший контур — радіоактивний. Він включає реактор і циркуляційні петлі охолодження. Кожна петля містить головний циркуляційний насос, парогенератор і дві головні запірні засувки. До однієї з циркуляційних петель першого контуру приєднаний компенсатор тиску, за допомогою якого в контурі підтримується заданий тиск води, що в реакторі водночас є й теплоносієм, і сповільнювачем нейтронів. На енергоблоках із реактором ВВЕР-1000 — чотири циркуляційні петлі.

Другий контур — нерадіоактивний. Він охоплює парогенератори, паропроводи, парові турбіни, сепаратори-пароперегрівники, живильні насоси та трубопроводи, деаератори й регенеративні підігрівачі. Парогенератор є загальним устаткуванням для першого

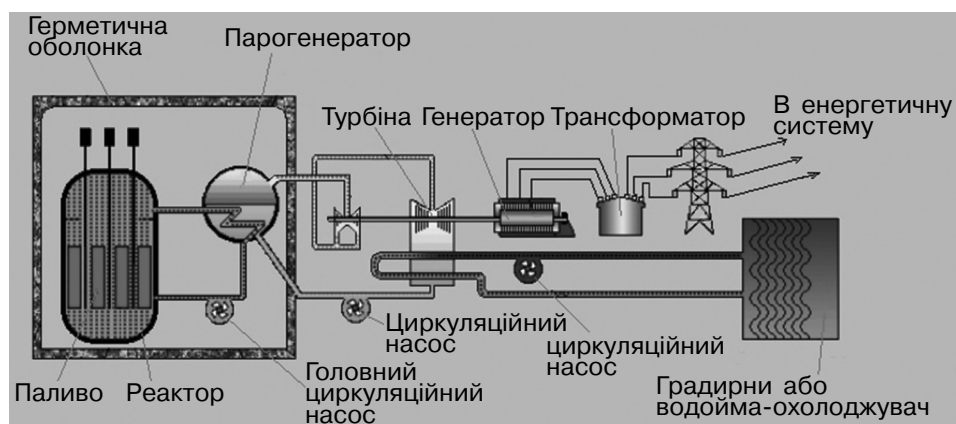


Рис. 33.6. Технологічна схема енергоблоків із реактором ВВЕР-1000

та другого контурів. У ньому теплова енергія реактора від першого контуру через теплообмінні трубки передається на другий контур. Далі під впливом високої температури парогенератором виробляється перегріта пара. Ця перегріта пара через паропровід змушує обертатись турбіну, яка, у свою чергу, приводить в обертання генератор, що виробляє електричний струм. У системі охолодження конденсаторів турбін на АЕС застосовуються баштові градирні й водосховище-охолоджувач.

! Головне в цьому параграфі

Ядерна реакція — це процес перебудови атомного ядра під впливом γ -кванта або зарядженої чи нейтральної частинки, що супроводжується утворенням нового ядра і нової частинки чи γ -кванта.

Ланцюговою реакцією називають процес, у якому одна проведена реакція зумовлює подальші реакції такого самого типу.

Ядерна зброя — зброя масового ураження вибухової дії, побудована на використанні ядерної енергії, що вивільняється під час ланцюгової ядерної реакції розщеплення важких ядер.

? Запитання для самоперевірки

1. У чому відмінність між хімічною та ядерною реакціями?
2. Які перетворення енергії відбуваються в ядерних реакторах?
3. Чому для здійснення ланцюгової реакції поділу ядер атомів Урану треба мати певну кількість урану?

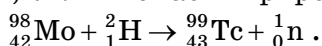
Вправа до § 33

- 1 (д). Яку кількість води можна нагріти від $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до кипіння за рахунок енергії, що виділяється під час ділення 100 г Урану-235? Вважати, що під час ділення одного ядра Урану-235 виділяється енергія 200 MeV . Втратами енергії знехтувати.
- 2 (д). Яку масу урану потрібно витратити, щоб упродовж радіоактивного розпаду всіх атомів Урану виділилась енергія 620 ГДж .
- 3 (д). На яку висоту можна підняти гранітну брилу масою 10 т за рахунок енергії, що виділяється при розпаді 1 г Урану-235?
- 4 (в). Яку кількість кам'яного вугілля необхідно спалити, щоб одержати стільки ж енергії, скільки виділяється внаслідок поділу 200 г Урану-235. Питома теплота згоряння кам'яного вугілля — $2,7\text{ МДж/кг}$.
- 5 (в). ККД атомної електростанції потужністю 1 ГВт дорівнює 20% . Визначте масу ядерного пального (Урану-235), що витрачає електростанція щотижня. Яка кількість $\text{kВт} \cdot \text{год}$ буде згенерована на АЕС за добу?

§ 34. Термоядерні реакції

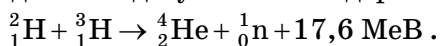
- ▶ Термоядерні реакції
- ▶ Енергія Сонця й зір
- ▶ Керований термоядерний синтез

ТЕРМОЯДЕРНІ РЕАКЦІЇ. За допомогою реакцій ядерного синтезу одержано елементи, яких немає в природі, наприклад:



Ядерні реакції синтезу — взаємодія ядер атомів хімічних елементів з елементарними частинками, γ -випромінюванням або з ядрами інших елементів.

Ядерні сили виявляються лише на відстанях, менших за величиною діаметра ядра (10^{-15} м). Для того щоб подолати кулонівське відштовхуванням протонів у однойменно позитивно заряджених ядрах, необхідно передати ядрам, які будуть зливатися, енергію, необхідну для такого злиття. Під час злиття ядер виділяється енергія, яку називають **термоядерною**, вона більша за енергію, що виділяється під час поділу важких ядер:



Загалом у цій реакції виділяється 17,6 MeV. Це одна з найперспективніших термоядерних реакцій. Термоядерні реакції ефективно відбуваються при температурах понад 10^7 К. Це надзвичайно висока температура. За такої температури речовина перебуває в повністю іонізованому стані, який називається плазмою. Здійснення термоядерних реакцій у земних умовах дає людству можливості отримання екологічно чистої і практично невичерпної енергії (на відміну від реакцій поділу важких ядер, у результаті термоядерного синтезу не утворюються радіоактивні відходи).

На сучасному етапі розвитку науки і техніки вдалося здійснити тільки некеровану реакцію синтезу у водневій бомбі. Висока температура, потрібна для ядерного синтезу, досягається тут за допомогою вибуху звичайної уранової або плутонієвої бомби.

ЕНЕРГІЯ СОНЦЯ ТА ЗІР. Термоядерні реакції відіграють надзвичайно важливу роль в еволюції Всесвіту. Енергія випромінювання Сонця і зірок має термоядерне походження.

Сонце і зірки випромінюють величезну енергію у світовий простір. У центрі Сонця температура близько 13 000 000 К. При такій температурі атоми повністю йонізовані, тобто навколо їхніх

ядер уже немає електронних оболонок. Фактично Сонце заповнене електронно-іонним газом. Високі температури зумовлюють колосальні тиски цих газів, і ядра можуть підійти значно ближче одне до одного, ніж у земних умовах за звичайних температур. У результаті цих реакцій виділяється величезна енергія.

Природно, що в результаті ядерних реакцій вміст Гідрогену на Сонці зменшується, і після того, як увесь водень витратиться, виділення енергії припиниться: Сонце згасне. Але і тут побоюватися немає чого. Зараз на Сонці стільки водню, що його вистачить, як показують підрахунки, на 30 мільярдів років

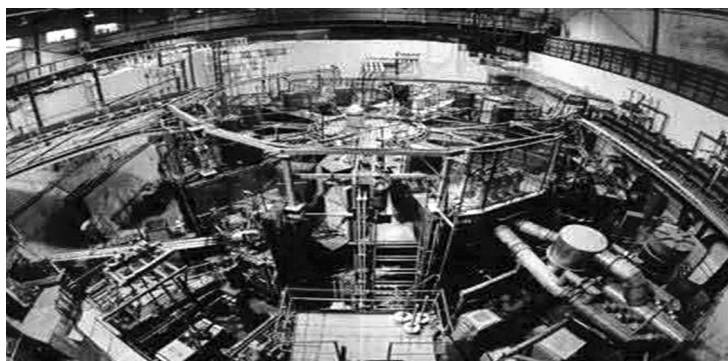
У різних зірках мають місце різні термоядерні реакції, а в одній і тій самій зірці в процесі її розвитку одні ядерні реакції змінюють інші. Спочатку відбувається реакція «згоряння» дейтерію. При цьому температура зірки збільшується, тиск усередині неї підвищується і стиск зірки сповільнюється або призупиняється аж до вигорання дейтерію. Наступним етапом еволюції зірки є розвиток в ній ядерних реакцій синтезу Гелію з Протієм. Саме ці ядерні реакції мають основне енергетичне значення для нашого Сонця і багатьох інших зірок. При їх протіканні чотири ядра атомів Гідрогену шляхом ряду послідовних перетворень утворюють ядро атома Гелію.

Після того, як значна частина Гідрогену буде витрачена і, таким чином, це джерело енергії вичерпається, зірка знову стискається, а температура речовини в її надрах і її густина ще більше збільшуються. Це ще один кардинальний етап у житті зірки. Тепер у ній починає протікати реакція синтезу Гелію, що призводить до утворення ще важчих елементів. Температура її надр підвищується, а оболонка розбухає. При цьому зірка перетворюється на червоний гігант.

КЕРОВАНІЙ ТЕРМОЯДЕРНИЙ СИНТЕЗ. Здійснення термоядерних реакцій у земних умовах дає людству можливість отримання екологічно чистої і практично невичерпної енергії (на відміну від реакцій поділу важких ядер, у результаті термоядерного синтезу не утворюються радіоактивні відходи). Дейтерій, необхідний для найефективнішої реакції, міститься у воді морів і океанів (у вигляді молекул), його кількості вистачить на сотні мільйонів років.

Керована термоядерна реакція — енергетично вигідна. Проте вона може відбуватися лише при дуже високих температурах (близько декілька сотень мільйонів градусів) та при великій густині речовини. При цьому виникає проблема — важко утримати плазму, в багатьох наукових центрах ведуться роботи, спрямовані на здійснення керованої термоядерної реакції.

Рис. 34.1.
Загальний
вигляд
Абінгдонського
термоядерного
реактора.



Основи теорії керованого термоядерного синтезу заклали в 1950 р. І. Є. Тамм і А. Д. Сахаров, запропонувавши утримувати магнітним полем гарячу плазму, що утворилася в результаті реакцій. Ця ідея і привела до створення термоядерних реакторів. При великій густині речовини необхідна висока температура в сотні млн. градусів може бути досягнута шляхом створення в плазмі потужних електронних розрядів, але важко утримати високотемпературну плазму.

Сучасні термоядерні реактори — це дослідницькі установки, в яких можливе існування і збереження плазми лише на деякий час. Найбільш потужний термоядерний реактор (рис. 34.1) розміщений у місті Абінгдон неподалік Оксфорда. Реактор має висоту 10 метрів, а час життя виробленої ним плазми становить близько 1 секунди.

! Головне в цьому параграфі

Ядерні реакції синтезу — взаємодія ядер атомів хімічних елементів з елементарними частинками, γ -випромінюванням або з ядрами інших елементів.

Для того, щоб між ядрами відбулась ядерна взаємодія, необхідно зблизити два ядра на відстані, менші від діаметра ядра (порядку 10^{-15} м).

Термоядерними реакціями називаються екзотермічні ядерні реакції синтезу легких ядер у важчі. Термоядерні реакції ефективно відбуваються при надвисоких температурах близько 10^7 — 10^9 К.

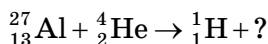
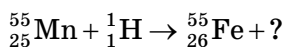
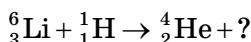
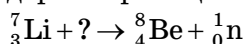
Термоядерні реакції відіграють надзвичайно важливу роль в еволюції Всесвіту. Енергія випромінювання Сонця і зірок має термоядерне походження.

Здійснення термоядерних реакцій у земних умовах дає людству можливість отримання екологічно чистої і практично невичерпної енергії (на відміну від реакцій поділу важких ядер, у результаті термоядерного синтезу не утворюються радіоактивні відходи).

? Запитання для самоперевірки

1. Чому реакція синтезу легких ядер відбувається тільки за дуже високих температур?

2. Допишіть рівняння ядерних реакцій:



3. У чому різниця між реакціями ядерного поділу і синтезу?

4. Ядра яких елементів насамперед вступають у реакцію синтезу?

5. Чому Сонце втрачає масу?

§ 35. Атомна енергетика України.

Екологічні проблеми атомної енергетики

- *Розвиток атомної енергетики в Україні та світі*
- *Екологічні проблеми ядерної енергетики*

РОЗВИТОК АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ.

Протягом останніх років у світі спостерігається значне зростання частки атомної енергетики у сфері енергозабезпечення. Якщо в 1960 р. атомна енергетика забезпечувала менше 1 % потреб людства в електроенергії, то на сьогодні — близько 15 %.

Для науково-технічної співпраці у сфері мирного використання ядерної енергії 29 липня 1957 р. було створено Міжнародну агенцію з атомної енергії (рис. 35.1), або МАГАТЕ (англ. *International Atomic Energy Agency*). МАГАТЕ встановлює стандарти ядерної безпеки і захисту довкілля, надає країнам-членам технічну допомогу, а також заохочує обмін науковою і технічною інформацією щодо ядерної енергії.



Рис. 35.1. Головний офіс МАГАТЕ у Відні

У середньому виробництво електроенергії на АЕС, за прогнозними оцінками МАГАТЕ, буде зростати до 2030 р. на 2,5 % щороку. Сьогодні в 31 країні світу працює 441 реактор, ще 29 перебувають на стадії будівництва.

Україна входить до десятки провідних країн з виробництва електричної енергії на АЕС. У енергозабезпеченні України частка ядерної енергії становить понад 55 %, а у вихідні дні коли промислові підприємства переважно не працюють, — більш як 70 %. За цими показниками Україна займає четверте місце у світі слідом за Францією, Словаччиною, Угорщиною.

За прогнозами, лише в Україні до 2030 р. споживання електричної енергії збільшиться на 94 млрд кВт · год, а її виробництво зросте майже на третину. При цьому частка електроенергії, що виробляється на АЕС, буде найбільшою.

При виробництві атомної енергії використовують технологію, за якої ядра Урану та Плутонію розщеплюються. Важливими принциповими перевагами цих речовин порівняно з іншими видами енергетичних ресурсів, використовуваними для виробництва електроенергії у значних обсягах, є:

- надзвичайно висока концентрація енергії;
- мінімальні викиди в атмосферу;
- найменший шкідливий вплив на здоров'я людини.

Ці фактори зумовлюють переваги АЕС як екологічно чистого джерела електроенергії. Для безперебійної роботи протягом року АЕС потужністю 1 ГВт необхідно 1,4 т природного урану, тоді як ТЕС аналогічної потужності потребує до 3 млн т вугілля. Атомна електростанція, що стабільно працює, викидає в атмосферу незначну кількість радіоактивних речовин — у декілька разів менше, ніж теплова електростанція такої ж потужності. Це особливо актуально для нашої країни, оскільки на території України, а саме на Кіровоградщині, розміщені одні з найбільших у світі поклади уранових руд.

Крім того, собівартість електроенергії, виробленої на АЕС, є найнижчою порівняно з іншими типами електростанцій. У вартості електричної енергії лише 32,77 % становить енергія АЕС, при тому що її виробляється 57,16 % від загального обсягу.

У жовтні 1996 р. в Україні було створено Державне підприємство «Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом», яка є оператором чотирьох діючих атомних електростанцій (рис. 35.2). На них експлуатується 15 атомних енергоблоків, з яких 13 типу ВВЕР-1000 і два — ВВЕР-440, загальною встановленою потужністю 13 835 МВт. «Наймолодший» реактор почав працювати у 2004 р.

Запорізька
АЕСРівненська
АЕСЮжно-Українська
АЕСХмельницька
АЕС

Рис. 35.2. Атомні електростанції України

Оскільки термін експлуатації ядерних реакторів типу ВВЕР становить 30 років, тому особливої актуальності набувають дослідження, спрямовані на його подовження. Енергетичною стратегією України на період до 2030 року передбачено істотне збільшення потужностей ядерної енергетики — до 29,5 ГВт, введення в експлуатацію нових енергоблоків та подовження терміну експлуатації діючих. Упродовж 2010—2015 рр. після реконструкції та модернізації було продовжено на 10—20 років терміни експлуатації чотирьох діючих енергоблоків Рівненської та Южно-Української АЕС. Сьогодні фахівці НАК «Енергоатом» та науково-дослідних установ Національної академії наук України працюють над реконструкцією та модернізацією енергоблоків № 1 і 2 найбільшої в Україні та Європі Запорізької АЕС.

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ. Для ядерних джерел енергії характерні компактна форма відходів і технічно обґрунтована можливість їх концентрації та локалізації. Проте значною проблемою ядерної енергетики залишаються труднощі з утилізацією радіоактивних відходів. В Україні над розв'язанням цієї проблеми працюють учені Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України. Однією з найважливіших проблем, що постають перед ученими, є розроблення технологій захоронення відпрацьованого ядерного палива. Із 2026 р. відпрацьоване паливо вітчизняних АЕС зберігатиметься в Україні, що потребує створення екологічно безпечних сховищ із використанням так званих природних іммобілізаторів відпрацьованого палива — циркону, монациту, цирконоліту, перовскіту, пірохлору, лакаргіту.

Важливою екологічною проблемою ядерної енергетики є теплове забруднення води. У процесі роботи атомна електростанція споживає величезні маси води для охолодження.

Найбільшу загрозу екології становлять техногенні та природні катастрофи. 26 квітня 1986 р. внаслідок порушення техноло-



Рис. 35.3. Зруйнований 4-й енергоблок ЧАЕС



Рис. 35.4. «Укриття — 1» над зруйнованим 4-м енергоблоком ЧАЕС

гічного циклу роботи ядерного реактора на Чорнобильській АЕС сталася аварія, що кваліфікується за міжнародною шкалою ядерних інцидентів як аварія найвищого сьомого рівня. Вона спричинила екологічну катастрофу та радіоактивне забруднення величезних територій (2,6 тис. кв. км), які стали зоною повного відчуження. У результаті було відселено близько 116 тис. громадян.

Аварія мала вибухоподібний характер, реактор був повністю зруйнований (рис. 35.3) і в докільля було викинуто велику кількість радіоактивних речовин.

Перше укриття зруйнованого реактора («саркофаг») збудували лише за півроку силами 90 тисяч ліквідаторів (рис. 35.4). За стінами залізобетонної оболонки перебувало майже 200 тонн небезпечних радіоактивних матеріалів.

29 листопада 2016 р. було завершене будівництво «Укриття-2» — безпечного конфайнмента, створеного спільними зусиллями українських та міжнародних учених і будівельників. Четвертий енергоблок Чорнобильської АЕС закрили захисною аркою, висо-

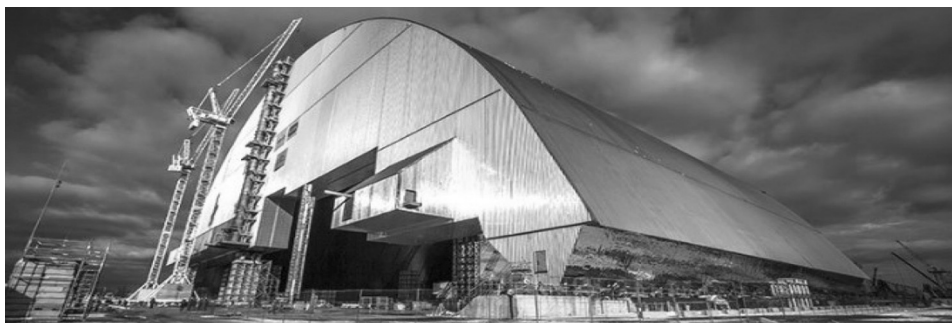


Рис. 35.5. «Укриття-2» — безпечний конфайнмент нового покоління

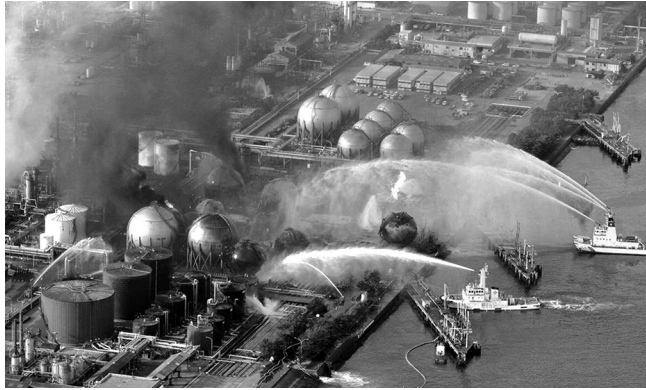


Рис. 35.6. Аварія на АЕС «Фукусіма»

тою 110 м, довжиною 165 м, шириною 260 м та масою 36 тис. т (рис. 35.5). Передбачається, що вона впродовж 100 років буде захищати навколишнє середовище від радіоактивного випромінювання та забезпечить можливість розбирання конструкцій блоку реактора й утилізації ядерних відходів, перетворить забруднену територію в екологічно безпечну систему.

До Чорнобильської трагедії екологічні проблеми ядерної енергетики не набули належного дослідження. Але після того, як весь світ побачив руйнівну потужність мирної атомної енергії, головні екологічні проблеми ядерної енергетики стали пов'язувати з техногенними катастрофами.

Проте з'ясувалося, що значну загрозу екологічній безпеці становлять і наслідки природних катастроф. У 2011 р. сталася потужна аварія на японській АЕС «Фукусіма-1» (рис. 35.6). Хоча станція й мала запас міцності, вона не витримала одночасної дії двох стихійних чинників.

Унаслідок землетрусу відключилося електропостачання станції, відразу після цього увімкнулися аварійні генератори, але вони теж довго не працювали через цунамі. Все це призвело до вибуху на першому енергоблоці. Він стався на наступний день після землетрусу. Від вибуху частково зруйнувалися бетонні конструкції, але корпус реактора не зазнав ушкоджень.

У результаті всіх подій виник витік радіації. Уряду Японії довелося евакуювати населення з 20-кілометрової зони навколо АЕС «Фукусіма».

Отже, вирішення екологічних проблем ядерної енергетики пов'язують із підвищенням рівня технічних вимог до технологічних процесів на АЕС і посиленням контролю з боку держави та міжнародної спільноти з метою мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище та запобігання аваріям.

Це цікаво знати

Проаналізуємо добовий графік споживання електроенергії в Україні станом на 6 грудня 2015 р. (рис. 35.7).

При температурі повітря $4,9^{\circ}\text{C}$ в Україні на АЕС вироблялося 60,1 % загальної кількості електроенергії. В абсолютному значенні потужність АЕС була незмінною протягом доби й становила 11 ГВт. Також незмінною була потужність теплоелектроцентралей (ТЕЦ), що використовується для забезпечення теплом житлових будинків.

Оскільки вдень споживається більше електроенергії, ніж уночі, слід регулювати її виробництво. Це досягається за допомогою зміни потужності теплоелектростанцій (ТЕС), але переважно за рахунок гідроелектростанцій (ГЕС) та гідроакumuлюючих електростанцій (ГАЕС). Електроенергія, що виробляється недовантаженими електростанціями енергосистеми (здебільшого вночі), використовується ГАЕС для перекачування насосами води з нижнього водоймища у верхнє. У періоди піків навантаження вода з верхнього басейну по трубопроводу підводиться до гідроагрегатів ГАЕС, включених на роботу в турбінному режимі, вироблена при цьому електроенергія віддається в мережу енергосистеми, а вода накопичується в нижньому водоймищі. Верхній басейн ГАЕС може бути штучним або природним (наприклад, озеро), як нижній басейн часто використовується водоймище, що утворилося внаслідок перекриття річки греблею. Одна з переваг ГАЕС полягає в тому, що вони не піддаються дії сезонних коливань виробництва електроенергії, як ГЕС.

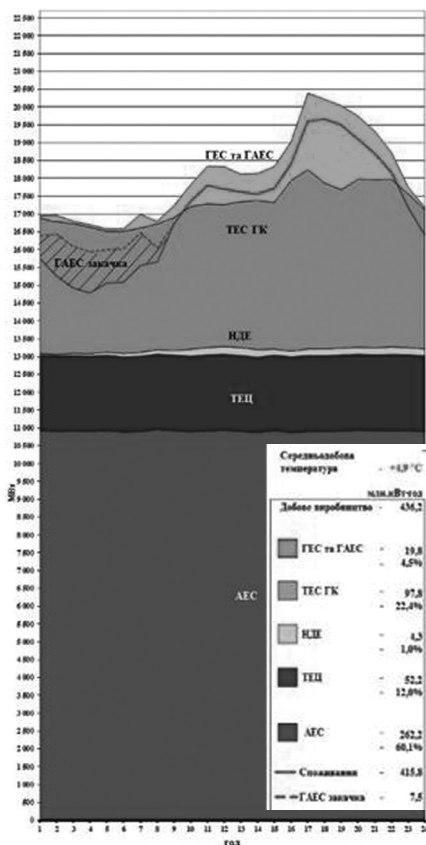


Рис. 35.7. Виробництво електроенергії в Україні протягом доби 6 грудня 2015 р.

! Головне в цьому параграфі

У середньому виробництво електроенергії на АЕС, за прогнозними оцінками МАГАТЕ, зростатиме до 2030 р. на 2,5 % щороку. В 31 країні світу побудовано 441 реактор, ще 29 перебувають на стадії будівництва.

Україна входить до десятки провідних країн із виробництва електричної енергії на АЕС. У енергозабезпеченні України частка ядерної енергії

становить понад 55 %, а у вихідні дні, коли промислові підприємства переважно не працюють, — більш як 70 %.

В Україні чотири діючі атомні електростанції, на яких експлуатується 15 атомних енергоблоків. Вартість електроенергії, виробленої на АЕС, є найнижчою порівняно з іншими типами електростанцій.

Продовження термінів експлуатації енергоблоків АЕС — одне з найактуальніших стратегічних завдань для атомної енергетики, позитивне розв'язання якого є запорукою енергетичної незалежності України, адже проектний термін експлуатації більшості енергоблоків закінчується.

Атомна електростанція, що стабільно працює, викидає в атмосферу дуже невелику кількість радіаційних забруднень, причому ця кількість у декілька разів менша, ніж викидів теплової електростанції аналогічної потужності.

Для ядерних джерел енергії характерні компактна форма відходів і технічно обґрунтована можливість їх концентрації та локалізації. Неминухою екологічною проблемою ядерної енергетики можна вважати також теплове забруднення води.

Вирішення екологічних проблем ядерної енергетики пов'язують із підвищенням рівня технічних вимог до технологічних процесів на АЕС і посиленням контролю з боку держави та міжнародної спільноти з метою мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище та запобігання аваріям.

? Запитання для самоперевірки

1. Які переваги АЕС порівняно з іншими видами електростанцій?
2. Які екологічні проблеми ядерної енергетики вам відомі?
3. Чому ядерну енергетику можна вважати основою економічної, екологічної та енергетичної безпеки України?

Готуємося до виконання навчального проекту

Використовуючи мережу Інтернет, проаналізуйте, як змінилася Чорнобильська зона відчуження протягом часу, що минув від аварії на ЧАЕС.

Головне в розділі 4

Атом — найменша хімічно неподільна, електронейтральна частинка матерії, що складається з позитивно зарядженого ядра й негативно заряджених електронів.

Йон — електрондефіцитний або електроннадлишковий атом чи група атомів.

Молекула — здатна до самостійного існування, електрично нейтральна частинка речовини, що має її основні хімічні властивості, які визначаються її складом та будовою.

Дотепер використовується планетарна модель атома Резерфорда — Бора, оскільки вона є прямим вираженням експериментальних фактів. У ядерній моделі атом становить систему зарядів, у

центрі якої розташоване важке позитивне ядро, де зосереджена практично вся маса атома, навколо якого обертаються електрони. Лінійний розмір ядра атома (10^{-15} м) у десятки тисяч раз менший за розміри атома (10^{-10} м).

Хімічний елемент — тип атомів, що характеризується певним протонним числом.

Нуклід — різновид атомів, що характеризується певним протонним та нуклонним числом. Радіоактивні атоми називають радіонуклідами.

Протонне число — кількість протонів у ядрі. Позначається латинською літерою Z і збігається з порядковим номером елемента періодичної системи.

Нуклонне число (масове число) — загальна кількість нуклонів (протонів та нейтронів) у ядрі, позначається літерою A .

Ізотопи — різновиди атомів одного елемента, що мають певне нуклонне число. Це різновиди атомів одного й того самого хімічного елемента.

В ядерній фізиці ізотоп хімічного елемента X прийнято позначати символом хімічного елемента із зазначенням його нуклонного числа (зліва вгорі) та протонного числа (зліва донизу), тобто у вигляді A_ZX . Нуклід позначають також іншим способом: до назви елемента через дефіс приєднується нуклонне число.

В ядрі між нуклонами існує особливий тип взаємодії, яку називають сильною, а сили, що їй відповідають, називають ядерними. Ядерні сили приблизно в 100 разів перевищують значення кулонівських сил, які діють в ядрі між протонами.

Радіоактивність — явище спонтанного перетворення нестійких ізотопів хімічного елемента в ізотопи іншого хімічного елемента, яке супроводжується випусканням певних частинок.

α -промені — потік ядер атомів Гелію ${}^4_2\text{He}$, швидкість яких буває 10 000 км/с. За час свого руху одна α -частинка здатна йонізувати сотні тисяч пар йонів. У повітрі довжина вільного пробігу α -частинок від 2 до 12 см, а у твердих речовинах — менше міліметра.

β -промені — потік електронів зі швидкостями, що можуть наближатися до швидкості світла. β -частинки активно розсіюються в речовині, йонізуючи її. Щоб затримати β -частинку досить листа металу завтовшки 3 мм.

γ -промені — високоенергетичне електромагнітне випромінювання. Взаємодіючи з електронними оболонками атомів, вони сприяють утворенню швидких електронів, які йонізують середовище. Для їх поглинання потрібен шар свинцю товщиною 20 см.

Радіоактивні перетворення ядер підпорядковуються правилам зміщення

α -розпад: ${}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2\text{He}$; **β -розпад:** ${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}Y + {}^0_{-1}e$.

Період піврозпаду — фізична величина, що характеризує швидкість розпаду радіонукліда й чисельно дорівнює часу, протягом якого розпадається половина наявної кількості ядер певного радіонукліда.

Активність радіоактивної речовини — фізична величина, яка характеризує інтенсивність радіоактивного розпаду й чисельно дорівнює кількості розпадів, що відбуваються в певній радіоактивній речовині за одиницю часу.

Активність позначають малою латинською літерою A . Одиницею активності в СІ є бекерель (Бк): $[A] = \text{Бк}$.

1 Бк — активність радіонукліда, в якому за одну секунду відбувається один розпад.

Радіація справді небезпечна: великі дози радіації вбивають клітини організму, зупиняють їх поділ, пригнічують низку біохімічних процесів, що перебувають в основі життєдіяльності, пошкоджують структуру ДНК і тим самим порушують генетичний код та позбавляють клітину інформації, на якій ґрунтується її життєдіяльність. Водночас малі дози радіації спричиняють ракові захворювання й генетичні зміни.

Ядерна реакція — це процес перебудови атомного ядра під впливом γ -кванта або зарядженої чи нейтральної частинки, що супроводжується утворенням нового ядра і нової частинки чи γ -кванта.

Ланцюговою реакцією називають процес, у якому одна реакція, що відбулася, зумовлює подальші реакції такого самого типу.

Ядерна зброя — зброя масового ураження вибухової дії, побудована на використанні ядерної енергії, що вивільняється під час ланцюгової ядерної реакції розщеплення важких ядер.

Ядерні реакції синтезу — взаємодія ядер атомів хімічних елементів з елементарними частинками, γ -випромінюванням або з ядрами інших елементів.

Україна входить до десяти провідних країн за виробництвом електричної енергії на АЕС. У енергозабезпеченні України частка ядерної енергії становить понад 55 %, а у вихідні дні, коли промислові підприємства переважно не працюють, — більш як 70 %.

Атомна електростанція, що стабільно працює, викидає в атмосферу невелику кількість радіаційних забруднень, причому ця кількість у декілька разів менша, ніж викиди теплової електростанції аналогічної потужності.

**Виявляємо предметну компетентність із розділу
«Фізика атома та атомного ядра»
Фізичні основи атомної енергетики»**

- 1 (с).** Які частинки входять до складу атомного ядра?
А. електрони і протони; **В.** протони;
Б. нейтрони й електрони; **Г.** немає правильної відповіді.
- 2(с).** Який з трьох типів випромінювань — α -випромінювання, β -випромінювання; чи γ -випромінювання — має найбільшу проникну здатність?
А. Всі мають приблизно однакову;
В. β -випромінювання;
Б. α -випромінювання;
Г. γ -випромінювання.
- 3.(с).** Який вид іонізуючих випромінювань з перерахованих далі найнебезпечніший при зовнішньому опромінюванні організму людини за однакової активності й однакової енергії частинок?
А. Усі однаково безпечні; **В.** β -випромінювання;
Б. α -випромінювання; **Г.** γ -випромінювання.
- 4(с).** Термоядерні реакції:
А. є реакціями поділу важких ядер;
Б. завжди відбуваються з поглинанням енергії;
В. є реакціями синтезу між легкими ядрами;
Г. відбуваються лише в штучно створених установках.
- 5(д).** Під час ланцюгової реакції поділу ядер Урану разом з ядрами-уламками обов'язково вилітають
А. α -частинки; **В.** нейтрони;
Б. β -частинки; **Г.** протони.
- 6 (д).** Вкажіть, яка частинка бере участь у ядерній реакції
 ${}^{14}_7\text{N} + ? \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$?
А. ${}^{11}_5\text{B}$; **Б.** ${}^4_2\text{He}$; **В.** ${}^8_3\text{Li}$; **Г.** ${}^2_1\text{H}$.
- 7 (д).** Яке нуклонне та протонне числа буде в ядра нового елемента, якщо нуклід ${}^{11}_5\text{B}$ зазнав α -розпаду?
А. 3 і 5; **Б.** 7 і 7; **В.** 3 і 7; **Г.** 7 і 15.
- 8 (д).** Чому дорівнює число нейтронів у ядрі ${}^8_3\text{Li}$?
А. 3; **Б.** 8; **В.** 5; **Г.** 11.
- 9 (д).** Взаємодія з якими частинками спричиняє поділ ядер Урану в ядерному реакторі?
А. протони; **В.** електрони;
Б. нейтрони; **Г.** α -частинки.
- 10 (д).** Встановіть відповідність між одиницями фізичних величин та їхніми числовим значенням у СІ

- | | |
|---------------|------------------------------------|
| 1. 1 а. о. м. | А. $1,6 \cdot 10^{-13}$ Дж |
| 2. 1 MeV | Б. $1 \cdot 10^3$ кг |
| 3. 1 кВт·год | В. $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл |
| 4. 1 т | Г. $1,67 \cdot 10^{-27}$ кг |
| | Д. $3,6 \cdot 10^6$ Дж |

11 (д). Встановіть відповідність між прізвищем ученого та його відкриттям

- | | |
|-----------------------|--|
| 1. Е. Резерфорд | А. Протонно-нейтронна модель ядра атома |
| 2. А. Беккерель | Б. Електрони в атомі представив у вигляді хвилі |
| 3. Д. Іваненко | В. Планетарна модель атома |
| 4. П. Кюрі та М. Кюрі | Г. Радіоактивні елементи Торій, Полоній, Радій; |
| | Д. Радіоактивне випромінювання |

12 (д). Установіть відповідність між ядром радіоактивного елемента та кількістю нейтронів у ядрі, яке утворилося б у результаті поглинання зазначеним ядром нейтрона.

- | | |
|---------------------------|--------------|
| 1. $^{55}_{26}\text{Fe}$ | А. 30 |
| 2. $^{98}_{42}\text{Mo}$ | Б. 58 |
| 3. $^{48}_{23}\text{V}$ | В. 57 |
| 4. $^{100}_{43}\text{Tc}$ | Г. 23 |
| | Д. 26 |

13 (в). Активність препарату Торію на початку дослідів становила 1500 Бк. Якою стане активність цього препарату, коли розпадеться 90 % атомів.

14 (в). Який ККД атомної електростанції потужністю 200 МВт, що витрачає за добу 500 г Урану-235. (Вважайте, що під час поділу ядра Урану виділяється енергія 200 MeV.)

15 (в). Яка маса води має пройти через турбіну гідроелектростанції з ККД 80 %, щоб виробити таку саму кількість енергії, що генерується на АЕС із ККД 20 % при розпаді 1 г Урану-235? Висота греблі ГЕС — 70 м

Розділ 5

РУХ І ВЗАЄМОДІЯ. ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ

Україна — потужна індустріальна держава, у якій налагоджено повний цикл конструювання, виготовлення та обслуговування різноманітних промислових машин, механізмів, приладів та обладнання, кораблів, літаків, космічних ракет. В основу їх будови та принципу дії покладено закони механіки — важливого розділу фізичної науки про рух та взаємодію тіл.

Із різними видами механічного руху та особливостями взаємодії тіл ви познайомилися в курсі фізики 7-го класу. Вивчаючи цей розділ, ви поглибите й розширите свої знання про основні характеристики механічного руху, взаємодію тіл та фундаментальні закони природи — закони збереження, а також навчитесь використовувати їх для розв'язування фізичних задач та практичних завдань.

§ 36. Механічний рух та його характеристики. Прискорення

- ▶ *Основні характеристики механічного руху.*
- ▶ *Прискорення.*
- ▶ *Рівноприскорений рух. Рівняння швидкості рівноприскореного руху.*
- ▶ *Рівняння переміщення і координати для рівноприскореного руху.*

ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАНІЧНОГО РУХУ. Механічний рух є найбільш поширеним у природі, до того ж він є частиною більш складних немеханічних процесів.

Механічний рух — це зміна з часом взаємного положення тіл або їх частин у просторі.

Наука, яка вивчає механічний рух матеріальних тіл та взаємодії, які при цьому відбувається називається **механікою**.

У 7-му класі для характеристики руху було введено такі фізичні величини, як шлях, переміщення, швидкість рівномірного прямолінійного руху, середня шляхова швидкість тощо.

Основною ознакою механічного руху тіла є те, що воно змінює своє положення. Будь-який процес можна описувати в обраній системі відліку

Сукупність тіла відліку, пов'язаної з ним системи координат і приладу для відліку часу утворює систему відліку (рис. 36.1).

Дослідити рух тіла (зміну його положення у просторі з плином часу) можна за його *траєкторією*.

Траєкторія — неперервна уявна лінія, яку описує тіло під час свого руху в обраній системі відліку.

Траєкторія руху певних тіл може бути наперед відомою. Так траєкторія руху потягу визначена залізничною колією, траєкторія руху плота — течією річки. Досить часто траєкторію руху тіла необхідно розрахувати на підставі інших характеристик руху. Наприклад, щоб запустити супутник, який буде обертатись навколо Землі, йому необхідно надати певної початкової швидкості.

Траєкторія руху може бути видимою (слід від реактивного літака на небосхилі (рис. 36.2) і невидимою (політ птаха).

Залежно від форми траєкторії розрізняють *прямолінійний* і *криволінійний* рух.

Досліджуючи механічний рух тіла, ми можемо використати деякі спрощення. Наприклад, якщо ми розглядатимемо рух потяга між Києвом та Львовом, то, визначаючи його положення в просторі, ми зможемо знехтувати його розмірами і прийняти його за точку. У фізиці прийнято говорити: матеріальну точку.

Матеріальна точка — тіло, розмірами і формою якого в певній задачі можна знехтувати.

За траєкторією руху легко визначити шлях, пройдений тілом. Для цього необхідно виміряти довжину траєкторії між початком і кінцем руху.

Шлях — це довжина траєкторії, яку проходить тіло за час руху.

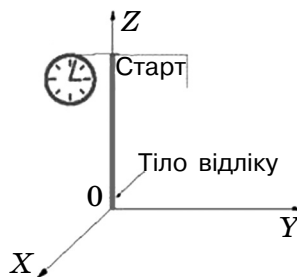


Рис. 36.1. Система відліку



Рис. 36.2. Траєкторія руху літака

Шлях позначається латинською літерою l . Одиницею шляху є метр.

$$[l] = \text{м}$$

Якщо траєкторія руху невідома і якщо не важливо, якою саме траєкторією рухається тіло, а важливо уміти визначити зміну положення тіла у просторі з плином часу, тоді користуються поняттям переміщення.

Переміщення — векторна фізична величина, що характеризує зміну положення тіла у просторі.

Переміщення є напрямленим відрізком, який сполучає початкове та кінцеве положення тіла.

Наприклад, щоб дістатися з одного населеного пункту в інший, водію доводиться їхати звивистою дорогою (рис. 36.3). Пройдений шлях — це довжина дороги l (траєкторії). Разом із тим водій здійснив переміщення з точки a в точку b , яке можна оцінити, з'єднавши початкове та кінцеве положення тіла в просторі прямою лінією і вказавши напрям руху. Тобто, щоб знайти кінцеве положення тіла в будь-який момент часу, потрібно знати його



положення у початковий момент та переміщення.

Для порівняння стрімкості руху різних тіл у фізиці використовують таку характеристику руху, як швидкість.

Рис. 36.3. Шлях і переміщення

Швидкість руху — це фізична величина, що характеризує механічний рух тіла та визначається відношенням пройденого шляху до інтервалу часу його руху.

$$v = \frac{l}{t}.$$

Позначається малою латинською літерою v . За одиницю швидкості у Міжнародній системі одиниць (СІ) прийнято метр за секунду:

$$[v] = \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Для опису нерівномірного руху користуються поняттями *середньої* та *миттєвої* швидкості.

Середня швидкість проходження шляху (або просто середня швидкість руху тіла) — фізична величина, що характеризує механічний рух за весь його час й визначається відношенням всього пройденого шляху до часу, впродовж якого відбувався рух тіла.

$$v_c = \frac{l}{t} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n},$$

де l_1, l_2, \dots, l_n — ділянки шляху, пройдені за відповідні інтервали часу t_1, t_2, \dots, t_n .

Таким чином, *середня швидкість характеризує рух тіла на певній ділянці траєкторії за весь час руху*, але не дає інформації про рух тіла у певній точці траєкторії (у певний момент часу).

Щоб знати швидкість та напрям руху тіла у певний момент часу в певній точці траєкторії застосовують поняття *миттєвої швидкості*.

Миттєва швидкість — векторна фізична величина, що визначає напрям і числове значення швидкості нерівномірного руху в певній точці траєкторії.

Саме миттєву швидкість фіксує спідометр автомобіля. Про миттєву швидкість можна було говорити й у випадку рівномірного руху. Миттєва швидкість рівномірного прямолінійного руху в будь-якій точці та у будь-який час однакова. Миттєва швидкість нерівномірного руху в різних точках траєкторії і в різні моменти часу — різна.

ПРИСКОРЕННЯ. Для обчислення швидкості нерівномірного руху тіла у будь-який момент часу треба знати, як швидко вона змінюється, або, інакше кажучи, як змінюється швидкість за одиницю часу. Фізичною величиною, яка характеризує зміну швидкості з часом, є *прискорення*.

Для визначення *миттєвого прискорення* розглянемо рух літака від точки 1 до точки 2 (рис. 36.4). Набираючи висоту, літак пролітає відстань між точками 1 і 2 за інтервал часу Δt і, збільшуючи швидкість, від \vec{v} (у точці 1) до $\vec{v} + \Delta\vec{v}$ (у точці 2). Сумістивши початок векторів \vec{v} та $\vec{v} + \Delta\vec{v}$, визначимо їх різницю:

$\Delta\vec{v}$ — це і є зміна швидкості за інтервал часу Δt .

Прискоренням називається векторна фізична величина, яка дорівнює відношенню зміни швидкості до інтервалу часу, протягом якого ця зміна відбулася.

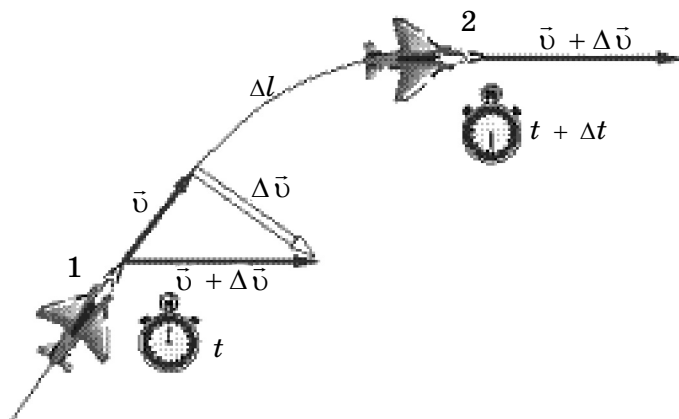


Рис. 36.4
Зміна швидкості $\Delta \vec{v}$ за проміжок часу Δt

Нехай у загальному випадку руху тіла в момент часу t_0 воно рухалося зі швидкістю \vec{v}_0 , а в момент t — зі швидкістю \vec{v} . Тоді прискорення руху тіла \vec{a} дорівнюватиме:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t - t_0} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}.$$

Зміна швидкості $\Delta \vec{v}$ — величина векторна, тому і прискорення \vec{a} — величина векторна. Напрямок вектора прискорення \vec{a} збігатиметься з напрямом вектора різниці швидкостей $\Delta \vec{v}$.

Наприклад, коли автомобіль набирає швидкість, його прискорення спрямоване так само, як і вектор швидкості, а коли він гальмує, то його прискорення спрямоване протилежно до напрямку швидкості. Коли ж автомобіль рухається по колу зі сталою за модулем швидкістю, його прискорення, спрямоване перпендикулярно до швидкості — по радіусу до центра кола.

Отже, *прискорення тіла в певний момент руху чисельно дорівнює зміні швидкості за одиницю часу.*

За одиницю прискорення в системі СІ прийнято прискорення такого рівнозмінного руху, при якому швидкість руху тіла змінюється щосекунди на один метр за секунду:

$$[a] = \frac{1 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{1 \text{ с}} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

У розмовній мові часто під словом «прискорення» розуміють збільшення модуля швидкості. Наприклад, коли говорять, що автомобіль рухається з прискоренням, то мають на увазі, що його швидкість збільшується. Але навряд чи скажуть так про автомобіль, що гальмує, або про планету, яка рівномірно рухається по орбіті навколо Сонця, маючи доцентрове прискорення.

У фізиці термін «прискорення» використовують для характеристики *будь-якої зміни швидкості*, у тому числі тоді, коли мо-

дуль швидкості зменшується чи швидкість змінюється тільки за напрямом. Тому розгін автомобіля і його гальмування, а також рівномірний рух планети навколо Сонця — це все *рух з прискоренням*, тобто, *прискорений рух*.

Приклади прискорень:

Електропотяг	0,6 м/с ²
Вільне падіння тіла	9,8 м/с ²
Ракета під час запуску супутника	60 м/с ²

Для вимірювання прискорення використовують спеціальні прилади — *акселерометри* різної конструкції.

РІВНОПРИСКОРЕНИЙ РУХ. Під час нерівномірного руху миттєва швидкість тіла безперервно змінюється.

Для спрощення аналізу явищ руху серед безлічі змінних рухів виокремлюють рівноприскорений рух, під час якого швидкість тіла за будь-які рівні інтервали часу змінюється однаково, на одну й ту саму величину.

Рівноприскореним називають рух, у якому за будь-які рівні інтервали часу швидкість змінюється однаково як за модулем, так і за напрямом.

Рівноприскорений рух ще називають рівнозмінним зі сталим прискоренням: $a = \text{const}$.

З формули прискорення можна визначити миттєву швидкість у будь-який момент часу. Оскільки

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}, \text{ то } \vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t.$$

Ця формула дає можливість визначати швидкість тіла у будь-який момент часу t .

З неї видно, що миттєва швидкість прискореного руху лінійно залежить від часу t , а її графіком є пряма лінія.

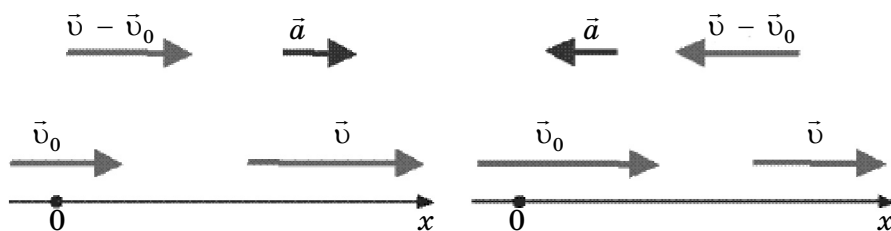


Рис. 36.5. Визначення напрямку прискорення у власне прискореному русі

Рис. 36.6 Визначення напрямку прискорення у сповільненому русі

Рівноприскорений рух може бути:

- а) власне рівноприскореним, коли швидкість тіла з часом зростає (рис. 36.5);
- б) рівносповільненим, коли швидкість тіла з часом зменшується (рис. 36.6).

РІВНЯННЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ І КООРДИНАТИ ДЛЯ РІВНОПРИСКОРЕНОГО РУХУ.

Щоб розв'язати основну задачу механіки, треба вміти обчислювати переміщення тіла і через нього — координати тіла. Як обчислити переміщення в рівноприскореному русі? Це можна зробити, наприклад, графічно.

Вираз для обчислення переміщення у випадку прямолінійного рівноприскореного руху з початковою швидкістю легко отримати графічно. На рис. 36.7 пряма AB — графік залежності $v_x = v_{0x} + a_x t$. Фігура, обмежена цим графіком та віссю часу, — прямокутна трапеція, яка складається з прямокутника площею $v_{0x} t$ та прямокутного трикутника площею $\frac{a_x t^2}{2}$.

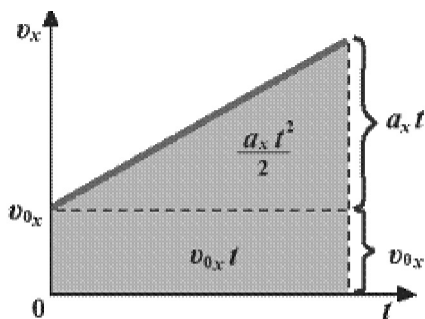


Рис. 36.7 Проекція переміщення чисельно дорівнює площі зафарбованої трапеції

Проекція переміщення чисельно дорівнює сумі цих площ:

$$s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}.$$

За умови, коли початкова швидкість становить 0, рівняння спрощується:

$$s_x = \frac{a_x t^2}{2}.$$

Відомо, щоб знайти координату тіла в будь-який момент часу, необхідно до її початкової координати додати проекцію здійсненого переміщення, тобто $x = x_0 + s_x$. Виходячи з цього, залежність координати тіла від часу має вигляд:

$$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}.$$

Отже, кінематичні рівняння переміщення та координати є квадратними рівняннями виду $y = a + bx + cx^2$. Тому графіками залежності проекції переміщення та координати від часу є параболи,

гілки яких згідно з параметрами руху мають різний вигляд (рис. 36.8).

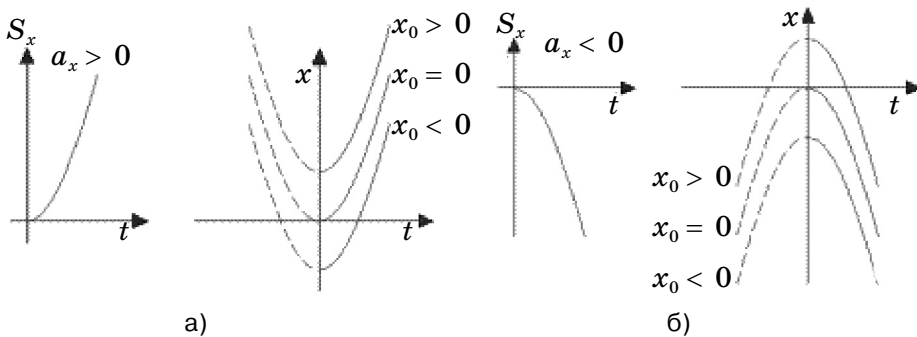


Рис. 36.8. Графік проекції переміщення і координати:

а) для випадку $v_{0x} = 0$ і $a_x > 0$; б) для випадку $v_{0x} = 0$ і $a_x < 0$

Зверніть увагу! Відмінністю графіків залежності переміщення та координати від часу є лише те, що вершина параболи графіка переміщення завжди міститься в точці з координатою $t = 0$, $s_x = 0$. Вершина параболи графіка координати від часу завжди знаходиться у точці $t = 0$, $x = x_0$, тобто, на осі X вище або нижче початку координат залежно від значення початкової координати x_0 .

Коли за умовою задачі прискорення тіла невідоме, переміщення тіла можна визначити, скориставшись формулою (див рис. 36.7 і пригадайте визначення площі трапеції):

$$S_x = \frac{v_x + v_{0x}}{2} t.$$

Одержимо ще одну формулу для обчислення проекції переміщення:

$$\begin{aligned} s_x &= \frac{v_{0x}(v_x - v_{0x})}{a_x} + \frac{a_x(v_x - v_{0x})^2}{2a_x^2} = \\ &= \frac{2v_x v_{0x} - 2v_{0x}^2 + v_x^2 - 2v_x v_{0x} + v_{0x}^2}{2a_x} = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}. \end{aligned}$$

Отже проекція переміщення може бути визначена за формулою:

$$s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}.$$

Розглянемо на прикладах застосування залежностей, про які йшлося в параграфі.

Задача 1. Розгін пасажирського літака під час злету тривав 25 с. На кінець злету літак мав швидкість 216 км/год. Визначити прискорення, з яким рухався літак.

Дано:

$$v_0 = 0$$

$$v = 216 \text{ км/год}$$

$$t = 25 \text{ с}$$

$a = ?$

Розв'язок

Виразимо числове значення швидкості у одиницях СІ:

$$v = \frac{216 \text{ км}}{1 \text{ год}} = \frac{216 \text{ 000 м}}{3600 \text{ с}} = 60 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Вважаємо, що літак рухався рівноприскорено. Вісь координат пов'яжемо зі злітною смугою. У такому випадку проекція прискорення: $a_x = \frac{\Delta v_x}{\Delta t}$; $a_x = \frac{60}{25} = 2,4 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right)$; $a_x = \frac{\frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{с}} = \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$;

Відповідь: $a_x = 2,4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$;

Задача 2. Автомобіль із початковою швидкістю 20 м/с став гальмувати, рухаючись прямолінійно зі сталим прискоренням, модуль якого 2,5 м/с². Через який час автомобіль зупиниться? Чому дорівнюватиме швидкість автомобіля через 4 с після початку гальмування?

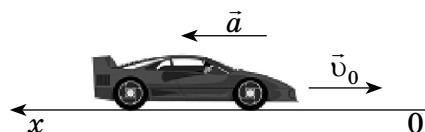


Рис. 36.9. До задачі 2

Дано:

$$v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$a = 2,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$t_2 = 4 \text{ с}$$

$$t_1 = ?$$

$$v_2 = ?$$

Розв'язок

Сумістимо вісь X з траєкторією автомобіля. За додатний напрям осі X візьмемо напрям, протилежний до напрямку вектора початкової швидкості.

Скористаємося формулою проекції швидкості, врахувавши, що автомобіль гальмує: $v = -v_0 + at$.

У момент часу $t = t_1$, автомобіль зупинився.

Тоді $0 = -v_0 + at$, звідки $t = \frac{v_0}{a}$; $t = \frac{20 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{2,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 8 \text{ с}.$

В момент часу t_2 від початку гальмування швидкість буде

$$v = -20 \frac{\text{м}}{\text{с}} + 2,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 4 \text{ с} = -10 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Відповідь: 8 с; 10 м/с.

! Головне в цьому параграфі

Прискоренням називається векторна фізична величина, що дорівнює відношенню зміни швидкості до інтервалу часу, протягом якого ця зміна відбулася:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t - t_0} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}.$$

$$\text{Одиниця прискорення в СІ } [a] = \frac{1 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{1 \text{ с}} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

При прямолінійному рівноприскореному русі миттєва швидкість визначається за формулою $v = v_0 + at$;

$$\text{переміщення } s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}, \text{ або } s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}, \text{ або } s_x = \frac{v_x + v_{0x}}{2} t.$$

? Запитання для самоперевірки

1. Які фізичні величини використовують для опису механічного руху?
2. Що таке прискорення? Назвіть одиницю прискорення.
3. Як спрямовується прискорення відносно швидкості тіла? Наведіть приклади, які підтверджують вашу відповідь.
4. Який рух називають прямолінійним, а який — рівноприскореним?
5. Як залежить проекція швидкості від часу під час прямолінійного рівноприскореного руху?
6. Як залежить проекція переміщення від часу за прямолінійного рівноприскореного руху?

Вправа до § 36

- 1 (п). Зобразіть на рисунку прискорення і швидкість руху потяга: а) під час розгону; б) під час гальмування.
- 2 (с). З яким прискоренням рухається автомобіль, якщо його швидкість за 1 хв змінилася з 9 км/год до 54 км/год?
- 3 (д). Автомобіль з місця починає рухатися рівноприскорено. Через 1 хв він розвиває швидкість 54 км/год. Визначте прискорення, з яким він рухався.
- 4 (д). Під'їжджаючи до станції, машиніст електровоза вимкнув двигуни, після чого потяг почав рухатися сповільнено. Яку відстань пройде потяг до повної зупинки, якщо у момент вимкнення двигунів його швидкість дорівнювала 54 км/год? Час руху до зупинки 2 хв.
- 5 (в). Літак торкається посадочної смуги при швидкості 60 м/с і зупиняється, пробігши 1,8 км. Чому дорівнює швидкість літака у момент, коли він пробіг по смузі 450 м?

§ 37. Вільне падіння тіл

- ▶ *Вільне падіння тіл*
- ▶ *Таблиця кінематичних рівнянь*
- ▶ *Падіння тіл у повітрі*

ВІЛЬНЕ ПАДІННЯ ТІЛ. Яскравим прикладом рівноприскореного руху є *вільне падіння тіл* — рух із постійним прискоренням. Під час падіння будь-якого тіла на землю зі стану спокою його швидкість зростає. Прискорення, що зумовлене дією сили тяжіння на тіло, спрямоване вертикально вниз. Виходячи з цього, якщо тіло кинути вгору з деякою початковою швидкістю, то воно спочатку рухатиметься рівносповільнено, зменшуючи швидкість до нуля у верхній точці траєкторії, а потім падатиме донизу, збільшуючи швидкість.

Тривалий час вважали, що Земля надає різним за масою тілам різні прискорення, а отже, важчі тіла падають швидше, легші — падають повільніше, маючи менші прискорення. Прості спостереження ніби підтверджують це.

Справді, легка пушинка, перо птаха чи папірець падають значно повільніше, ніж камінь чи залізна куля. Саме тому з часів видатного мислителя античності Арістотеля (жив у IV ст. до н. е.) вважалося, що прискорення, надаване Землею тілу залежить від його маси.

Тільки Галілео Галілею (1564—1642) вдалося дослідним шляхом довести, що насправді це не так. Виявляється, необхідно було враховувати опір повітря, бо саме він спотворює картину падіння тіл. Картину вільного падіння можна було б спостерігати за відсутності земної атмосфери. Спостерігаючи падіння різних тіл (ядро гармати, мушкетна куля тощо) зі знаменитої похилої Пізанської вежі (рис. 37.1), Галілео Галілей довів, що земна куля надає всім тілам одного і того ж прискорення.

Через відсутність тоді точних годинників Галілей не мав змоги вимірювати досить точно малі інтервали часу падіння тіл. Учений здогадався, що падіння можна «уповільнити», скочуючи кульки з похилого жолоба. Кут нахилу жолоба поступово збільшували й вимірювали час (рис. 37.2).

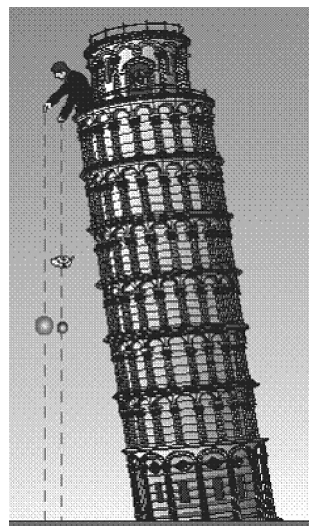


Рис 37.1. Падіння тіл різної маси з Пізанської вежі

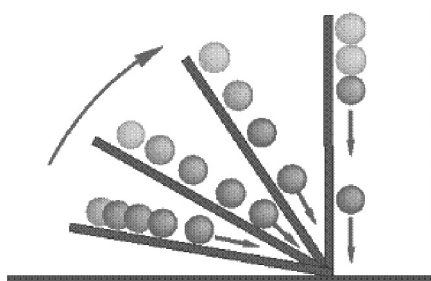


Рис. 37.2. При фіксованому куті нахилу жолоба кулька скочується зі сталим прискоренням, що не залежить ні від кута нахилу жолоба, ні від маси кульки.

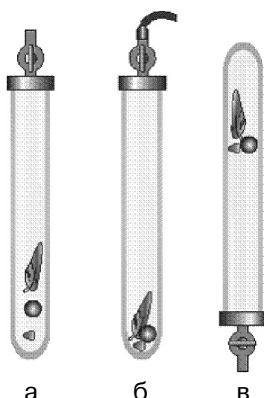


Рис. 37.3. Дослід із трубкою Ньютона

Було встановлено, що значення прискорення кульки не змінюється із збільшенням кута нахилу жолоба, навіть якщо кут нахилу сягатиме 90° (тобто жолоб матиме вертикальне положення). Більше того, виявилось, що прискорення кульки не залежить від її маси. Таким чином було доведено: *земна куля надає всім тілам одне і те саме прискорення*.

Отже, Галілей уперше довів, що *за умови відсутності опору повітря поблизу поверхні Землі прискорення вільного падіння для всіх тіл сталие*.

Простим і переконливим є дослід із так званою трубкою Ньютона (рис. 37.3). У досить широку скляну трубку завдовжки 1 м і запаяну з одного кінця вміщують три різні предмети, наприклад, свинцеву дробинку, шматок корка та пір'їну. Другий кінець трубки закривають пробкою з краном. Якщо тепер трубку повернути так, щоб ці тіла падали, то швидше за всіх впаде свинцева дробинка, за нею корок і, нарешті, плавно впаде пір'їна (рис. 37.3, а). Потім насосом відкачують повітря з трубки (рис. 37.3, б) і повторюють дослід. Тепер ці тіла знову падають і досягають дна трубки одночасно (рис. 37.3, в).

Рух тіла під впливом лише земного тяжіння називають вільним падінням.

Відповідно і прискорення, яке надає земна куля всім тілам, називають *прискоренням вільного падіння*.

Його модуль позначають літерою \vec{g} (першою літерою латинського слова *gravitas* — тяжіння). Вектор прискорення напрямлений по вертикалі донизу. Коли тіло падає, його швидкість зростає, бо напрями векторів швидкості й прискорення збігаються.

Швидкість тіла, кинутого з певною швидкістю вертикально вгору, з часом зменшується, бо прискорення направлене вертикально вниз (рис. 37.4).

Прискорення вільного падіння дещо змінюється залежно від географічної широти місця на поверхні Землі. Так, на екваторі $g = 9,78 \text{ м/с}^2$, на полюсах Землі $g = 9,83 \text{ м/с}^2$. Ця різниця значень зумовлена обертанням Землі навколо своєї осі. Для Києва вимірювання дають таке значення прискорення вільного падіння: $g = 9,81 \text{ м/с}^2$. Для розв'язування багатьох задач можна вважати, що прискорення вільного падіння поблизу поверхні Землі дорівнює $9,81 \text{ м/с}^2$ або й 10 м/с^2 .

На Місяці немає атмосфери, тому астронавти спостерігали синхронне падіння предметів, що відбувалося з однаковим прискоренням.

Прискорення вільного падіння на Місяці приблизно у 6 разів менше, ніж на Землі: $g_M = 1,6 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

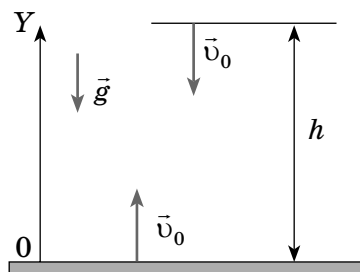


Рис. 37.4. Вільне падіння тіл.

ТАБЛИЦЯ КІНЕМАТИЧНИХ РІВНЯНЬ. Оскільки вільне падіння і рух тіла, кинутого вертикально вгору, є рівноприскореними, то всі кінематичні рівняння такого руху, розглянуті раніше, справедливі й для цих випадків. Запишемо їх до порівняльної таблиці, обравши для запису вісь Y (рис. 37.4) та врахувавши, що прискоренню a відповідає g , а переміщенню s — висота h . Тож, урахувавши знаки проекцій, одержимо:

Кінематичне рівняння	Тіло падає з висоти h	Тіло кинуте вертикально вгору
$v = v_0 + at$	$v = v_0 + gt$	$v = v_0 - gt$
$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$	$h = v_0 t + \frac{gt^2}{2}$	$h = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$
	Час падіння $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$, при $v_0 = 0$	Час підйому $t = \frac{v_0}{g}$
$v^2 - v_0^2 = 2as$	Швидкість під час падіння $v = \sqrt{2gh}$	Висота підйому $h = \frac{v_0^2}{2g}$

ПАДІННЯ ТІЛ У ПОВІТРІ. У повітрі тіла падають інакше, ніж у вакуумі. На тіло, що падає у повітрі, діє сила опору повітря. На початку вільного падіння в повітрі тіло падає з прискоренням вільного падіння, оскільки сила опору повітря надзвичайно мала і нею можна знехтувати. Коли сила опору повітря зі зростанням швидкості тіла стає рівною силі тяжіння, прискорення тіла стає рівним нулю. Поблизу Землі тіла, що падають із великої висоти, мають сталу швидкість.

Легкі тіла з великою площею поверхні (сніжинки, листя дерев) через короткий проміжок часу починають рухатись у повітрі рівномірно з невеликою швидкістю.

Розглянемо деякі приклади розв'язування задач на вільне падіння тіл.

Задача 1. Визначити глибину колодязя, якщо вільно опущений у нього камінь досяг поверхні води за 2 с. Яку швидкість матиме цей камінь у момент зіткнення з поверхнею води?

<i>Дано:</i>	<i>Розв'язок</i>
$t = 2 \text{ с}$	Пов'яжемо систему координат із поверхнею Землі, спрямувавши вісь координат Y до дна колодязя. Відстань h дорівнюватиме:
$h = ?$	
$v = ?$	

$$h = \frac{1}{2}gt^2, \text{ або } h = \frac{1}{2} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 4 \text{ с}^2 = 19,6 \text{ м.}$$

$$\text{Швидкість } v = gt; v = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 2 \text{ с} = 19,6 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Відповідь: 19,6 м; 19,6 м/с.

Задача 2. Тіло кинуто вертикально вгору зі швидкістю 20 м/с. Визначити висоту та час його підйому. Опором повітря знехтувати, прийняти $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

<i>Дано:</i>	<i>Розв'язок</i>
$v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	Пов'яжемо систему координат Y з поверхнею Землі. Висота підйому тіла вгору дорівнюватиме
$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	
$h = ?$	$h = v_0 t - \frac{gt^2}{2}.$
$t = ?$	Кінцева швидкість підйому вгору дорівнюватиме нулю. Час підйому можна знайти за формулою кінцевої швидкості

$$v = v_0 - gt, \text{ звідки } v_0 = gt, \text{ а час дорівнює } t = v_0 / g; t = \frac{20 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 2 \text{ с.}$$

Висота підйому дорівнюватиме

$$h = 20 \cdot 2 - \frac{10 \cdot 4}{2} = 20(\text{м}); [h] = \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \text{с} - \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \text{с}^2 = \text{м} - \text{м} = \text{м}.$$

Відповідь: 2 с; 20 м.

! Головне в цьому параграфі

Доведено, що земна куля надає всім без винятку тілам одне і те саме прискорення. Цей факт був уперше встановлений Галілеєм. Рух тіла лише під впливом земного тяжіння називають вільним падінням.

Прискорення, яке надає земна куля всім тілам, називають прискоренням вільного падіння, середнє значення якого $g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Дія сил опору повітря кардинально змінює процес вільного падіння: при падінні в повітрі всі тіла рухаються прискорено лише на початку руху, далі їх рух стає рівномірним.

Під час розв'язування задач на рух у вертикальному напрямі використовують формули рівноприскореного руху й опором повітря, як правило, нехтують.

? Запитання для самоперевірки

1. Що називають вільним падінням тіл?
2. Чи однаковим буде час вільного падіння з однієї і тієї самої висоти?
3. Чому дорівнює прискорення вільного падіння на поверхні Землі?
4. Запишіть формули, що пов'язують величини, які характеризують вільне падіння.
5. Галілей давав можливість кулям різної маси вільно падати з Пізанської вежі заввишки майже 48 м. Кулі досягали поверхні Землі майже одночасно приблизно за 3,1 с. Яке значення прискорення вільного падіння куль одержав Галілей?

Вправа до § 37

- 1 (с). Камінь падав на дно ущелини 4 с. Яка глибина ущелини?
- 2 (с). На яку максимальну висоту підніметься тіло, кинуте вгору з початковою швидкістю 44 м/с? Скільки часу триватиме підйом тіла до максимальної висоти?
- 3 (д). Стріла, випущена з лука вертикально вгору, впала на землю через 6 с. Яка початкова швидкість стріли і максимальна висота її підйому?
- 4 (в). Тіло, яке вільно падає без початкової швидкості, за останню секунду руху проходить $\frac{2}{3}$ усього шляху. Визначте шлях, пройдений тілом під час падіння.
- 5 (в). Тіло вільно падає зі стану спокою з висоти 39,2 м. За який час тіло пройде: а) перший метр свого шляху; б) останній метр свого шляху? Чому дорівнює середня швидкість на другій половині шляху?
- 6 (в). Тіло вільно падає з висоти 80 м. Яке його переміщення за останню секунду падіння?

§ 38. Інерціальні системи відліку. Перший закон Ньютона

- Уявлення про світобудову та причини руху
- Закон інерції Галілея
- Інерціальні системи відліку
- Перший закон Ньютона
- Принцип відносності Галілея

УЯВЛЕННЯ ПРО СВІТОБУДОВУ ТА ПРИЧИНИ РУХУ. Люди на завжди з притаманною їй розуму допитливістю намагалися з'ясувати причини будь-якого явища, яке вона спостерігає. З давніх-давен, стикаючись із різними видами та проявами механічного руху і використанням його на практиці, люди дійшли висновку, що рух будь-якого тіла є наслідком дії на нього інших тіл — колесо водяного млина обертається під дією води, віз рухають запряжені коні. Припиняється дія — припиняється рух. Уявлення про рух як про процес, зумовлений дією одних тіл на інші, склали основу античної натурфілософії.

Відомий давньогрецький філософ і вчений Арістотель (384—322 рр. до н. е.) (рис. 38.1) узагальнив наукові досягнення з механіки свого часу в праці «Фізика». Він увів поняття про природні та вимушені рухи й запропонував їх класифікацію. Вертикальне

падіння тіл учений вважав природним рухом, тобто таким, що відбувається сам по собі. За часів Арістотеля вважалося, що для руху тіла на нього обов'язково мають діяти інші тіла. Якщо ж зовнішні впливи відсутні, то тіло може перебувати лише у стані спокою.

Проте, користуючись цими висновками, пояснити рух небесних тіл було доволі складно. Оскільки руху не може бути без причини, то Сонце, Місяць та планети, на думку вчених античного світу, мали рухатися навколо Землі під дією невидимих, вищих сил. Подібні уявлення про природу руху небесних тіл знайшли відображення у світосприйнятті різних народів. Сонце — головне світило, від якого залежить життя на Землі, — єгиптяни уявляли як бога Ра в золотій колісниці; давні греки — у подібі сяючого Геліуса; у прадавніх слов'ян Сонце — золотоволосий

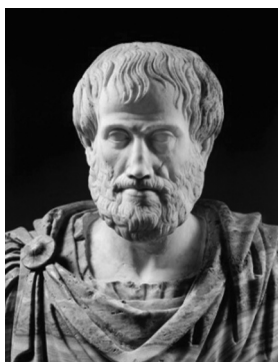


Рис. 38.1.
Арістотель
(бл. 384—322 рр.
до н. е.)
давньогрецький
філософ,
вихователь
Александра
Македонського

Ярило — символ життя й розвитку (рис. 38.2).

Зрозуміти причини руху стало можливим, коли було побудовано теорію механічного руху, основу якої утворили закони динаміки — три закони Ньютона.

Рис. 38.2. Уявлення про рух небесних світил у єгиптян



ЗАКОН ІНЕРЦІЇ ГАЛІЛЕЯ. Спостерігаючи за рухом шайби, пущеної по гладенькому льоду, можна помітити, що вона досить довго рухається, проте через деякий час зупиниться. Чому шайба зупиняється? Очевидно, що внаслідок тертя між шайбою та льодом. Якби силу тертя вдалося ще зменшити, то шайба ковзала б нескінченно довго.

Закони руху тіл досліджували античні та середньовічні вчені, накопичуючи й систематизуючи велику кількість дослідних фактів. Проте тільки Галілео Галілею (1564—1642), видатному італійському вченому, вдалося зробити важливі висновки про закономірності механічного руху.

На відміну від Арістотеля, який вважав, що тіло рухається доти, доки на нього діє сила, Г. Галілей зробив висновок про незнищеність руху, встановивши, що за відсутності зовнішніх причин тіло зберігає надану йому одного разу швидкість як завгодно довго. Ці міркування сформували основу *закону інерції*.

Якщо на тіло не діють інші тіла, то воно рухається прямолінійно та рівномірно, тобто зберігає свою швидкість сталою або перебуває у стані спокою.

Галілей довів, що з погляду динаміки взаємодія одних тіл з іншими є лише причиною зміни їх швидкості, а не руху як такого.

Здатність тіла зберігати стан відносного спокою або рухатися рівномірно і прямолінійно, якщо на нього не діють інші тіла, можна спостерігати в такому досліді. Розглянемо двобічний похилий жолоб, по якому скочується металева кулька (рис. 38.3). Коли кулька рухається по першій частині жолоба донизу, її швидкість зростає внаслідок дії сили земного тяжіння. Коли кулька підні-



Рис. 38.3. Рух кульки по двобічному похилому жолобу

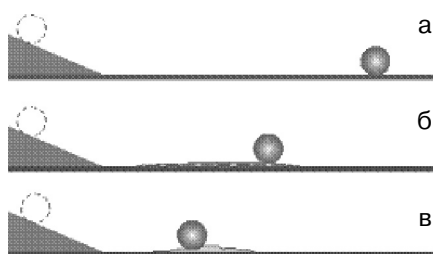


Рис. 38.4. Вільний рух кульки по різних поверхнях:
а) склу; б) тканині; в) піску

а) мається вгору по другій частині жолоба, її швидкість поступово зменшується, знову-таки внаслідок дії сили тяжіння, яка тепер перешкоджає руху кульки.

Встановимо похилий жолоб на краю стола так, щоб кулька могла вільно рухатися по поверхні столу, скотившись із жолоба. Поверхню столу по черзі покриватимемо піском, тканиною та склом. Відпускаючи кульку, спостерігатимемо за її рухом. Ру-

хаючись по піску кулька швидко зупиниться. По тканині вона пройде більшу відстань. Найбільшу відстань до зупинки кулька пройде по скляній поверхні (рис. 38.4).

Очевидно, що причиною зупинки кульки буде сила тертя, яка протидіє її руху, зменшуючи її швидкість. Чим більша сила тертя, тим швидше зупиниться кулька. Якби тертя взагалі не було, кулька рухалася б прямолінійно й рівномірно як завгодно довго, доки б на неї не подіяли інші тіла і не змінили її швидкість. Говорять, що в цьому випадку тіло рухається за інерцією.

Справедливість закону інерції ви можете самостійно спостерігати за письмовим столом. Покладіть на гладеньку поверхню столу аркуш паперу, а зверху на нього згорнуту книжку. Повільно потягніть за папірець. Він разом із книжкою рухатиметься по столі. Повторіть дослід, але різко потягніть за папір — листок висмикнеться, а книжка залишиться на тому самому місці, зберігаючи попередній характер руху (в нашому випадку — відносний спокій). У першому досліді ви діяли на папір поступово, тому «книжка встигала змінити свою швидкість під тією сили тертя об папір». У другому досліді зміна швидкості відбулася протягом короткого часу і здатність тіла (книжки) зберігати початковий характер руху виявилася помітнішою.

Практичним використанням прояву закону інерції є паски безпеки автомобіля (їх ще називають інерційними) (рис. 38.5). Вони спрацьовують під час різкого гальмування і попереджають травмування водія і пасажирів, які продовжують рух за інерцією з тією самою швидкістю, тоді як автомобіль зупиняється. Пасок безпеки сконструйований так, що при плавному рухові за вільний кінець він видовжується на потрібну відстань. При різкому рухові під час гальмування спрацьовує спеціальний фіксатор, який не дає паску рухатися й утримує пасажирів в сидінні автомобіля.

Закон інерції перевірений експериментально в дослідях зі спостереження прямолінійного рівномірного руху тіл у кабіні космічного корабля в умовах невагомості, дуже малого опору повітря та зовнішнього впливу на нього інших сил. Залишене саме собі тіло рухається прямолінійно та рівномірно.

Висновок Галілея став надзвичайно важливим для пояснення руху небесних тіл у космічному просторі. Рух планет не припиняється, бо опір у космосі мінімальний. Сила гравітаційного притягання з боку Сонця не змушує планети рухатися, а лише змінює характер їх руху, відхиляючи від прямолінійного рівномірного руху та забезпечуючи рух коловими орбітами.

У результаті застосування закону інерції для пояснення руху земних і небесних тіл було зроблено висновок про єдність та універсальність законів природи, зокрема підпорядкованість різноманітних механічних рухів тіл одним і тим самим законам.



Рис. 38.5. Інерційний пасок безпеки

ІНЕРЦІАЛЬНІ СИСТЕМИ ВІДЛІКУ. Відкритий Г. Галілеєм закон інерції став першим важливим законом динаміки, встановленим дослідним шляхом. Щоправда, наведене в попередньому пункті його формулювання не є достатньо точним. Адже він стосується рівномірного прямолінійного руху, тобто руху зі сталою швидкістю. З кінематики вам відомо, що одне й те саме тіло може здійснювати різні за характером рухи в різних системах відліку. Але чи в усіх системах відліку виконується закон інерції?

Справа в тому, що поняття «рух» і «спокій» відносні й залежать від обраної системи відліку. Так, ваш будинок є нерухомим у системі відліку, пов'язаній із Землею, але рухається навколо земної осі та навколо Сонця. Виявилося, що спокій і рівномірний прямолінійний рух еквівалентні в окремому класі систем відліку — інерціальних системах відліку. Тобто в системах, де виконується закон інерції.

Системи відліку, відносно яких тіло, що не взаємодіє з іншими тілами, зберігає спокій або рухається прямолінійно і рівномірно, називаються інерціальними.

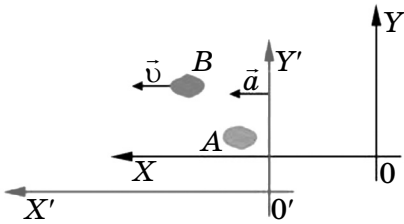


Рис. 38.6. Інерціальні та неінерціальні системи відліку

Поняття інерціальної системи відліку є науковою абстракцією, оскільки не існує абсолютно нерухомих тіл, з якими можна було б її пов'язати. Проте досвід переконує, що для рухів більшості тіл, які оточують людину, інерціальною системою відліку з достатнім наближенням буде система,

пов'язана з Землею. Інерціальними системами з більшою точністю будуть системи, пов'язані з Сонцем та зорями.

Візьмемо інерціальну систему XOY , в якій тіло A перебуває в стані спокою, а тіло B рухається прямолінійно й рівномірно зі швидкістю $\vec{v} = \text{const}$ (рис. 38.6). Тіла A та B не взаємодіють між собою та з іншими тілами системи. Розглянемо систему відліку $X'O'Y'$, яка рухається прямолінійно й рівномірно відносно цієї інерціальної системи зі швидкістю $\vec{v}' = \text{const}$. Тоді тіло A , яке в системі XOY було в стані спокою, рухатиметься в системі $X'O'Y'$ прямолінійно й рівномірно зі швидкістю $\vec{v}' = \text{const}$, а тіло B — прямолінійно й рівномірно зі швидкістю $\vec{v} = \text{const}$. Тому система $X'O'Y'$ теж буде інерціальною.

Якби система відліку $X'O'Y'$ рухалася відносно інерціальної системи XOY з прискоренням, то вона не була б інерціальною, оскільки в ній швидкість першого та другого тіл змінювалася без взаємодії з іншими тілами.

Еквівалентність станів спокою та прямолінійного рівномірного рухів можлива лише в інерціальних системах, які перебувають у стані спокою або рухаються прямолінійно й рівномірно одна відносно іншої.

Будь-яка система відліку, яка перебуває в стані спокою відносно інерціальної системи або рухається відносно неї прямолінійно рівномірно, теж є інерціальною.

Тому можна говорити про те, що інерціальних систем відліку може існувати як завгодно багато.

ПЕРШИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА. Закони динаміки були сформульовані видатним англійським фізиком І. Ньютоном у 1867 р. у праці «Математичні начала натуральної філософії». Закон інерції Галілея з уточненнями щодо систем відліку був уведений Ньютоном як перший закон динаміки.

Існують такі системи відліку, відносно яких усі тіла, що не взаємодіють з іншими тілами, перебувають у стані спокою або рухаються рівномірно і прямолінійно.

За першим законом Ньютона, в інерціальних системах відліку тіло рухається прямолінійно й рівномірно, якщо на нього не діють інші тіла або дія інших тіл скомпенсована.

Разом із тим існують такі системи відліку, де закон інерції не виконується. Якщо зміна швидкості тіла викликана не дією на нього інших тіл цієї системи, а, наприклад, її прискореним рухом, то в такій системі закон інерції не виконується.

Будь-яка система відліку, що рухається відносно інерціальної прискорено або обертається, називається неінерціальною.

Прикладом неінерціальних систем, які рухаються з прискоренням відносно інерціальної системи Земля, є системи відліку, пов'язані з потягом, автобусом або автомобілем, що рушають чи гальмують. Предмети та пасажирів в них змінюють свою швидкість без видимої взаємодії з іншими тілами (Землею, потягом чи автомобілем). Під час різкого гальмування швидкість пасажирів відносно Землі зберігається сталою. Відносно системи відліку, пов'язаної із салоном автобуса, пасажирів рухаються прискорено, що може спричинити їх падіння (рис. 38.7).

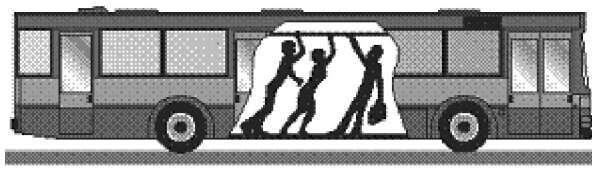


Рис. 38.7.
Неінерціальна система відліку, пов'язана із салоном автобуса

Закони механіки мають найпростіший вигляд в інерціальних системах відліку, тому їх часто використовують для опису рухів тіл на поверхні Землі.

ПРИНЦИП ВІДНОСНОСТІ ГАЛІЛЕЯ. Якщо ви піднімалися або опускалися в сучасному швидкісному ліфті торговельного центру, або ж летіли в літаку, то, мабуть, наставав такий момент, коли після прискорення ліфт чи літак (або ж інший транспортний засіб), починав рухатися рівномірно і вам здавалося, що ви стоїте на місці. Перебуваючи в транспортному засобі, що рухається прямолінійно зі сталою швидкістю, не можна з впевненістю вказати:

рухається він чи стоїть. Подібний експеримент, щоправда, з палубою корабля, пропонував провести Г. Галілей у книзі «Діалог про дві найважливіші системи світу — Птолемеєву та Коперникову» (1632).

«Зберіться з приятелем під палубою корабля. Візьміть із собою літаючих комах, посудину з водою, в якій плавають рибки. Підвісьте вгорі відерце, з якого крапля за краплею витікає вода в іншу посудину з вузькою шийкою, що стоїть внизу. Доки корабель стоїть нерухомо, спостерігайте уважно за рухом комах та рибок. Зверніть увагу, що всі падаючі краплі попадають у підставлену посудину... Стрибаючи двома ногами, ви зробите стрибок на одну й ту саму відстань, незалежно від його напрямку. Спостерігайте добре за всім цим, хоча у нас не викликає сумніву у тому, що поки корабель залишається нерухомим, все має відбуватися саме так. Приведіть тепер корабель у рух з якою завгодно швидкістю. Якщо рух буде рівномірним і без гойдання в той чи інший бік, то у всіх вказаних явищах ви не виявите жодної зміни і ні за жодним із них не зможете встановити, рухається корабель чи стоїть на місці».

Дослідникам пропонувалося спостерігати за поведінкою комах, рибок в акваріумі, краплин води, що скапують в посудину, під палубою корабля, який рухатиметься з постійною швидкістю без розгойдування. Вчений наголошує, що всередині цієї системи відліку не можна буде відрізнити стан рівномірного руху від стану спокою.

Саме Галілей уперше висловив думку про еквівалентність інерціальних систем відліку та механічних явищ, що відбуваються в них, сформулювавши принцип відносності:

В усіх інерціальних системах відліку за однакових початкових умов закони механіки однаково справедливі.

Тобто всі інерціальні системи відліку рівноправні. Жодним спостереженням механічних явищ усередині інерціальної системи відліку виявити її рух неможливо. І рівномірний рух, і спокій виявляють себе лише відносно обраної системи відліку (для корабля це інерціальна система відліку, пов'язана із Землею).

Разом із тим тотожність законів руху в різних інерціальних системах відліку не означає тотожність його характеру. Тіла в будь-яких інерціальних системах відліку рухаються однаково за однакових початкових умов.

! Головне в цьому параграфі

Взаємодія між тілами зумовлює не сам рух тіла, а зміну його швидкості, тобто прискорення.

Будь-яке тіло зберігає свою швидкість сталою, якщо на нього не діють інші тіла або їх дія взаємно компенсується.

Відносний спокій та рівномірний і прямолінійний рух є еквівалентними в інерціальних системах відліку.

За однакових початкових умов тіла в будь-яких інерціальних системах відліку рухаються однаково.

? Запитання для самоперевірки

1. Які повсякденні спостереження дають підстави вважати, що будь-який рух тіла зумовлений його взаємодією з іншими тілами, а які не підтверджують цього?
2. Чи всім тілам властива здатність зберігати початковий характер руху?
3. У чому полягає закон інерції і чи завжди він виконується?
4. У яких системах відліку механічні явища є еквівалентними (повністю однаковими)?
5. Чим відрізняються характеристики руху за Арістотелем та Галілеєм?
6. Скільки можна встановити інерціальних систем відліку і як саме? Наведіть приклади.
7. У чому полягає основний зміст першого закону Ньютона? Чим він відрізняється від закону інерції, відкритого Галілеєм?
8. Чи в усіх системах відліку виконується перший закон Ньютона?
9. Яким чином можна встановити, що система відліку є неінерціальною?
10. Наведіть приклади прояву принципу відносності Галілея.
11. Яким чином можна підтвердити закон інерції?
 - а) одноразовим його застосуванням до конкретного тіла;
 - б) математичними виведеннями та логічним міркуванням;
 - в) багатократним використанням для розв'язування практичних задач механіки.

Вправа до § 38

- 1 (п). Потяг рушає з місця і набирає швидкість. Чи можна з будь-яким вагоном пов'язати інерціальну систему відліку?
- 2 (п). Одним із популярних фокусів є висмикування скатертини зі столу, заповненого посудом. Поясніть, чому повні склянки та тарілки залишаються на місці, якщо різко висмикнути скатертину?

- 3 (п).** Чому, щоб вирвати буряк або моркву із землі, їх потрібно тягнути за гичку повільно?
- 4 (с).** Чи можна стверджувати, що коли в певній системі відліку тіла не взаємодіють, то рух відсутній повністю?
- 5 (с).** З яким із атракціонів у парку відпочинку можна пов'язати інерціальну систему відліку:
а) центрифугою;
б) катамараном, що рухається по воді прямолінійно зі сталою швидкістю;
в) каруселлю.
- 6 (д).** Хто рухається швидше один відносно одного: велосипедист, що їде прямолінійно зі швидкістю 20 км/год, чи його товариш, що йде в протилежному напрямку зі швидкістю 5 км/год?
- 7 (д).** Під час різкого гальмування в автомобілі спрацьовують паски безпеки. Для якої з можливих систем відліку це є проявом першого закону Ньютона, а для якої — ні? Наведіть приклади.
- 8 (в).** З якими із небесних тіл доцільно пов'язувати інерціальні системи відліку: а) Сонце; б) Земля; в) Місяць; г) зоря Арктур. Поясніть.
- 9 (в).** На прямолінійній ділянці вузлової станції два потяги рухаються зі сталими швидкостями паралельними залізничними коліями. В яких випадках у системах відліку, пов'язаних із потягами, можна вважати еквівалентними стан спокою та руху?
а) потяги рухаються назустріч один одному з однаковими швидкостями;
б) потяги рухаються назустріч з різними швидкостями;
в) потяги рухаються у протилежних напрямках з однаковими швидкостями;
г) потяги рухаються у протилежних напрямках з різними швидкостями.

§ 39. Другий закон Ньютона

- ▶ Співвідношення між прискоренням тіла і прикладеною до нього силою
- ▶ Маса тіла
- ▶ Другий закон Ньютона

СПІВВІДНОШЕННЯ МІЖ ПРИСКОРЕННЯМ ТІЛА І ПРИКЛАДЕНОЮ ДО НЬОГО СИЛОЮ. Якщо перший закон Ньютона описує інертні властивості тіл і визначає системи відліку, в яких вони проявляються, то другий закон Ньютона є основним законом для розрахунків характеристик механічного руху тіл і встановлення кількісних зв'язків між взаємодією тіл, їх інертними властивостями та видом руху.

За допомогою другого закону Ньютона розв'язують основну задачу механіки: визначають закон руху тіла та залежність основних характеристик від часу.

З попередніх параграфів вам відомо, що під час дії на рухоме тіло інших тіл його швидкість змінюється. Причому, чим більша сила F , з якою на це тіло діють інші тіла, тим більшою буде зміна швидкості дії. Отже, зміна швидкості пропорційна діючій силі: $\Delta v \sim F$. Оскільки зміна швидкості за одиницю часу визначає прискорення a , то $\Delta v \sim a$ і, відповідно, $a \sim F$. Тобто прискорення тіла пропорційне силі, що діє на тіло.

На досліді можна переконатися, що при зміні сили, з якою ми діємо на тіло, його прискорення теж змінюється. Прикріпимо металевий диск до гачка динамометра і прикладемо до нього деяку силу F . При цьому диск рухатиметься по поверхні столу з деяким прискоренням (рис. 39.1, а). Збільшимо прикладену силу вдвічі — прискорення зросте в 2 рази (рис. 39.1, б); зменшимо силу — прискорення зменшиться (рис. 39.1, в). Змінюючи напрям прикладеної сили, помітимо, що змінюватиметься напрям прискорення.

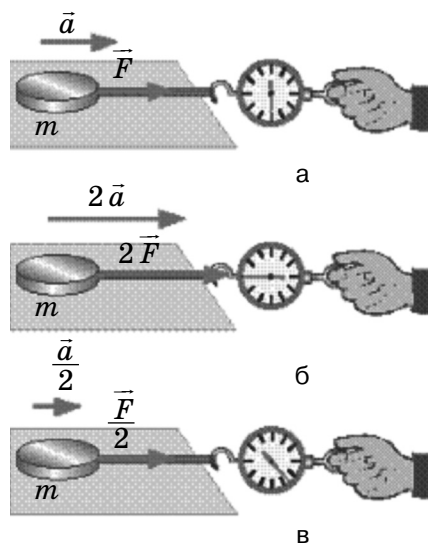


Рис. 39.1. При зміні сили, що діє на тіло, його прискорення змінюється

МАСА ТІЛА. Ми встановили залежність прискорення тіла від сили, що діє на нього. Від яких ще характеристик воно залежить?

У попередньому досліді збільши-мо масу тіла, вдвічі.

Приклавши аналогічну силу F , помітимо, що прискорення, з яким рухається тіло, буде меншим, ніж коли з такою самою силою подіяти на тіло меншої маси (рис. 39.2). Чим більша маса тіла, тим меншого прискорення воно набуває під час дії на нього однієї і тієї самої сили. Тобто чим більша маса тіла, тим важче змінити його рух (швидкість), тим інертнішим буде тіло.

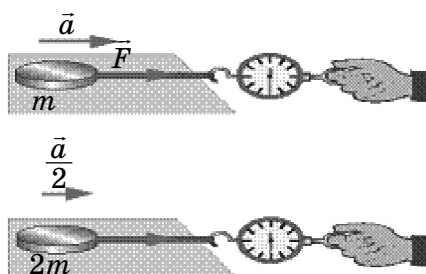


Рис. 39.2. Чим більша маса тіла, тим меншого прискорення воно набуває під дією однієї і тієї ж сили

Маса тіла — це кількісна характеристика його інертності (фізичної властивості чинити опір зміні швидкості руху тіла).

Отже, маса тіла є коефіцієнтом пропорційності між силою, що діє на дане тіло, та прискоренням, якого воно набуває. Цей коефіцієнт не залежить від модуля та напрямку дії сили і є скалярною величиною. Оскільки напрям прискорення завжди збігається з напрямом сили, залежність між прискоренням силою та масою тіла має вигляд

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}.$$

ДРУГИЙ ЗАКОН НЬЮТОН. У реальних умовах на тіло, що рухається, діє одночасно кілька інших тіл, тому виникає необхідність розглядати рух тіла під дією кількох сил.

Якщо на тіло масою m одночасно діють дві сили \vec{F}_1 та \vec{F}_2 , то воно рухатиметься з прискоренням $\vec{a} = \vec{a}_1 + \vec{a}_2$, яке відповідає деякій силі \vec{F} . Цю силу називають рівнодією або результируючою двох сил.

$$\text{Тобто } \vec{a} = \vec{a}_1 + \vec{a}_2 = \frac{\vec{F}_1 + \vec{F}_2}{m}.$$

Якщо на тіло одночасно діють кілька сил, то модуль прискорення тіла буде пропорційний модулю геометричної суми всіх цих сил: $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$.

Для випадку дії двох сил результируюча сила шукається за правилом паралелограма (рис. 39.3).

Додавання сил, що діють на тіло, здійснюється згідно з принципом суперпозиції або накладання сил.

Результуюча сила, що діє на певне тіло з боку інших тіл, дорівнює векторній сумі сил, з якими кожне тіло діє на це тіло.

Встановивши залежність між характеристиками руху, можна сформулювати другий закон Ньютона:

В інерціальній системі відліку прискорення тіла прямо пропорційне сумі всіх сил, що діють на тіло, і обернено пропорційне його масі

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m}.$$

Оскільки зміна руху тіла зумовлена силою, що діє на нього, другий закон Ньютона записують і в такому вигляді: в інерціальних системах відліку добуток маси тіла на його прискорення дорівнює векторній сумі сил, що діють на тіло:

$$m\vec{a} = \sum \vec{F}, \text{ де } \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n.$$

З другого закону Ньютона можна встановити одиницю сили

$$[F] = 1 \text{ кг} \cdot 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 1 \text{ Н}.$$

1 Н — це сила, під дією якої тіло масою 1 кг набуває прискорення 1 м/с² у напрямку дії сили.

Другий закон Ньютона дає можливість розв'язувати важливі задачі механіки, які не лише стосуються кількісних характеристик руху (маса тіла, модуль прискорення тощо), а й пов'язані з визначенням залежності напряму руху від напряму діючої сили.

! Головне в цьому параграфі

Дія сил не спричиняє самого руху, а лише змінює його, адже сила викликає зміну швидкості тобто прискорення, а не саму швидкість.

Другий закон Ньютона, так само як і перший, виконується в інерціальних системах відліку.

Одночасна дія на тіло декількох сил може бути замінена дією однієї сили (рівнодійної). Це можливо тому, що існує принцип суперпозиції

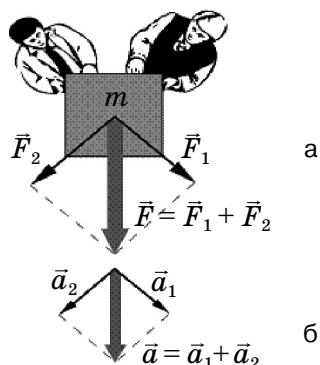


Рис. 39.3. Рух тіла під дією двох сил

(незалежності дії сил): якщо на тіло діють одночасно декілька сил, дію кожної з них можна розглядати незалежно від дії інших.

Оскільки зміна руху характеризується прискоренням, яке, у свою чергу, зумовлене діючою силою, другий закон Ньютона записують і в такому вигляді:

$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m}$. В інерціальній системі відліку прискорення тіла прямо пропорційне сумі всіх сил, що діють на тіло, і обернено пропорційне його масі.

? Запитання для самоперевірки

1. Сформулюйте основну задачу динаміки.
2. Чи залежить напрям вектора прискорення від напрямку діючої сили? Як саме?
3. Поясніть фізичний зміст поняття маси тіла. Якою величиною, векторною чи скалярною, є маса?
4. Як пов'язане прискорення тіла з його масою та величиною діючої сили?
5. Розкрийте особливості руху тіла під дією кількох сил. Чи залежить дія сили на тіло від дії інших сил?
6. Запишіть і сформулюйте другий закон Ньютона.
7. Чи в усіх системах відліку виконується другий закон динаміки (другий закон Ньютона)?

Вправа до § 39

- 1 (с). Куля масою 9 г за $2,0 \cdot 10^{-4}$ с пробиває дерев'яну дошку. При цьому її швидкість зменшується з 800 до 300 м/с. Знайдіть силу опору, яку чинить дошка.
- 2 (с). Яка з формул: $a = \frac{F}{m}$; $F = ma$; $m = \frac{F}{a}$ виражає залежність однієї фізичної величини від інших? Відповідь поясніть.
- 3 (с). З якою силою потрібно подіяти на тіло масою 500 г, щоб надати йому прискорення 2 м/с²?
- 4 (с). Визначте прискорення, з яким тіло масою 1 кг падає на Землю, якщо на нього діє сила тяжіння 9,8 Н.
- 5 (д). Тіло масою 0,5 кг починає рухатися зі стану спокою під дією сили 35 Н. Визначте швидкість тіла через 4 секунди від початку руху.
- 6 (д). Після удару футболіста нерухомий м'яч масою 500 г набуває швидкості 10 м/с. Визначте силу удару, якщо він тривав 0,5 с.
- 7 (в). Порожньому прицепу автівка надає прискорення 0,4 м/с², а навантаженому 0,1 м/с². Якого прискорення надасть автівка обом прицепами, з'єднаним разом? Силу тяги автівки вважати незмінною.
- 8 (в). Під дією деякої сили візок, рухаючись зі стану спокою, пройшов шлях 40 см. Коли ж на візок поклали вантаж 200 г, то під дією такої ж сили за той самий час візок пройшов зі стану спокою шлях 20 см. Визначте масу візка.

§ 40. Третій закон Ньютона.

Межі застосування законів Ньютона

- ▶ Співвідношення сил, що супроводжують взаємодію тіл
- ▶ Третій закон Ньютона
- ▶ Межі застосування законів Ньютона

СПІВВІДНОШЕННЯ СИЛ, ЩО СУПРОВОДЖУЮТЬ ВЗАЄМОДІЮ ТІЛ. Під час взаємодії двох тіл кожне з них діє на інше тіло. Стиснувши пружину, відчуємо, що вона, в свою чергу, тисне на руку. Оскільки кількісною мірою взаємодії між тілами є сила, то очевидно, що кожне з них діє на інше з певною силою. Виникає запитання: як пов'язані між собою ці сили?

Проявом будь-якої взаємодії тіл є зміна швидкості їх руху, тобто отримання тілами прискорень. Ці прискорення протилежні за напрямом, а їх значення залежать від початкових умов і можуть бути різними. Сталим залишається відношення абсолютних значень прискорень двох тіл, яке обернено пропорційне відношенню їх мас:

$$\left| \frac{\vec{a}_1}{\vec{a}_2} \right| = \frac{m_2}{m_1} = \text{const}.$$

Звідси випливає, що під час взаємодії двох тіл виконується рівність

$$m_1 \cdot \vec{a}_1 = -m_2 \cdot \vec{a}_2.$$

За другим законом Ньютона добуток маси тіла на прискорення, якого воно набуває, визначає силу, що діє на тіло. Отже, $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$. Тож сили, що супроводжують взаємодію двох тіл, однакові за величиною та протилежні за напрямом.

Отриманий висновок можна перевірити на досліді. Візьмемо два легкорухомі візки і розташуємо їх на гладенькій поверхні недалеко один від одного, скріпивши протилежні кінці за допомогою м'яких пружин (рис. 40.1). На один із візків покладемо потужний штабовий магніт, а на інший — металевий брусок. Під дією магніту візки притягуватимуться один до одного, розтягуючи пружини. Коли рух візків припиниться, можна спостерігати, що пружини розтягнулися однаково. Отже, з боку пружин на обидва візки діють однакові за модулем і протилежні за напрямком сили: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$. Сили, які викликають розтягування пружин, відповідно теж однакові за модулем та мають протилежний напрям: $\vec{F}_3 = -\vec{F}_4$.

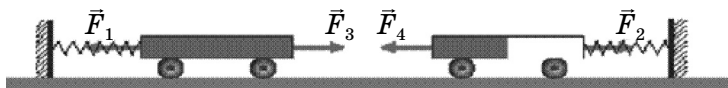


Рис. 40.1.
Взаємодія двох легкорухомих візків

ТРЕТІЙ ЗАКОН НЬЮТОНА. На підставі результатів подібних дослідів був сформульований третій закон Ньютона.

Сили, з якими тіла діють одне на одне, напрямлені вздовж однієї прямої, однакові за модулем та протилежні за напрямом.

Наприклад, натиснемо рукою на книжку із силою \vec{F}_1 . За третім законом Ньютона книжка діє на руку з силою \vec{F}_2 , причому $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ (рис. 40.2). Аналогічно, сила, з якою Земля притягує

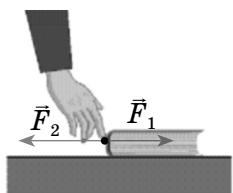


Рис. 40.2. Взаємодія книжки та руки.

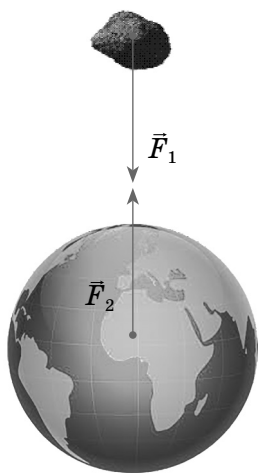


Рис. 40.3. Взаємодія каменя з Землею

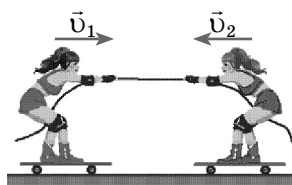


Рис. 40.4. Взаємодія двох скейтбордистів

камінь, дорівнює силі, з якою камінь притягує Землю та протилежна їй (рис. 40.3).

Важливою особливістю сил, що виникають під час взаємодії тіл, згідно з третім законом Ньютона, є те, що вони завжди мають одну й ту саму природу. У досліді з візками — це сили пружності, зумовлені електромагнітною взаємодією. Сили, з якими Земля та камінь діють одне на одного, мають гравітаційну природу. Відповідно до третього закону Ньютона сили, що виникають під час взаємодії двох тіл, однакові за модулем та протилежні за напрямом, але чому ж вони не врівноважуються? Виявляється, ці сили прикладені до різних тіл, а тому не можуть зрівноважувати одна одну (рис. 40.3). Щоб дві сили зрівноважилися, вони мають бути однакові за модулем, протилежні за напрямом і мають прикладатися до одного тіла

Якщо два скейтбордисти стануть один напроти одного і триматимуться за мотузку (рис. 40.4), то достатньо одному з них потягнути за неї, щоб обидва почали рухатися назустріч один одному. Тягнувши мотузку, перший скейтбордист діє на мотузку і на першого скейтбордиста з силою \vec{F}_2 , причому $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$.

Значення третього закону Ньютона полягає передусім у тому, що він виражає важливу властивість, спільну для будь-яких взаємодій: дія завжди викликає рівну їй протидію. Важливо, що одна з них прикладена до першого тіла, а інша — до

другого. Сили, які діють між тілами, утворюють систему, і їх називають внутрішніми силами системи. Сума внутрішніх сил дорівнює нулю, що значно спрощує вивчення руху тіл, які не можна розглядати як матеріальні точки.

МЕЖІ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАКОНІВ НЬЮТОНА. Як і другий, так і третій закон Ньютона виконується тільки в інерціальних системах відліку, визначених першим законом Ньютона. Щоб застосовувати другий та третій закони Ньютона, потрібно обрати систему відліку, в якій на тіла немає зовнішніх впливів або ці впливи скомпенсовані.

Чи можна вважати, що третій закон Ньютона не виконується у випадках, коли під час взаємодії двох тіл помітно змінюється рух лише одного тіла? Розглянемо взаємодію легкоатлета із Землею (рис. 40.5). Під час старту спортсмен діє на Землю із силою \vec{F}_1 , яка отримує прискорення \vec{a}_1 . Згідно з третім законом Ньютона на спортсмена з боку Землі діє така сама сила \vec{F}_2 у протилежному напрямі і надає йому прискорення — він починає рухатися з деякою швидкістю.

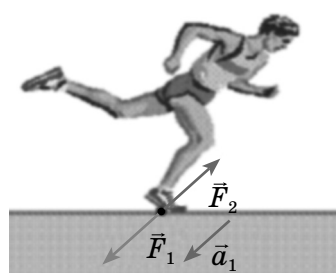


Рис. 40.5. Взаємодія легкоатлета із Землею

Очевидно, що прискорення \vec{a}_1 досить мале (під дією легкоатлета масою 60 кг Земля отримує прискорення приблизно $5 \cdot 10^{-23} \text{ м/с}^2$). Розглядаючи таку взаємодію, потрібно врахувати, що маса Землі значно перевищує масу легкоатлета, тому й прискорення, якого набуває Земля, значно менше (відношення прискорень тіл обернено пропорційне їхнім масам). Отже, третій закон Ньютона виконується під час взаємодії тіл будь-якої маси. Щоправда, прояв його через отримання обома тілами, які беруть участь у взаємодії, прискорень спостерігається за умови, що тіла мають порівнювані маси.

Крім того, не доцільно пояснювати за допомогою третього закону Ньютона стан спокою тіл. Стан спокою книжки визначається другим законом Ньютона: $\vec{F}_T + \vec{N} = 0$. Прискорення тіла дорівнює нулю, оскільки сума сил, що діють на нього, дорівнює нулю.

! Головне в цьому параграфі

Сили, з якими взаємодіючі тіла діють одне на одного, направлені вздовж однієї прямої, рівні за модулем та протилежні за напрямом. Третій закон Ньютона формулюють, ще й так: у дії завжди є протидія.

Закони механіки Ньютона встановлені для макроскопічних тіл, що рухаються порівняно з невеликими швидкостями, які набагато менші за швидкість світла. Закони Ньютона виконуються у інерціальних системах відліку.

Закони Ньютона дають змогу розв'язати основну задачу механіки: якщо відомі сили, що прикладені до тіла, можна визначити прискорення тіла у будь-який момент часу, у будь-якій точці траєкторії. І навпаки, якщо відоме положення тіла у будь-який момент часу, то закони Ньютона допомагають з'ясувати, які сили діють на тіло.

? Запитання для самоперевірки

1. Чи є відмінність між дією і протидією?
2. Чи зрівноважують одна одну сили, що виникають унаслідок взаємодії тіл?
3. Наведіть приклади, що підтверджують третій закон Ньютона.
4. Чим обумовлені межі застосування законів Ньютона?

Вправа до § 40

- 1 (с). Два тіла взаємодіють між собою. На рис. 40.7 вказано сили (\vec{F}_{A1} , \vec{F}_{A2} , \vec{F}_{A3} та \vec{F}_{A4}), що діють на тіло А та сили (\vec{F}_{B1} , \vec{F}_{B2} , \vec{F}_{B3} та \vec{F}_{B4}), що діють на тіло В. Вкажіть які сили могли бути спричинені взаємодією тіл.

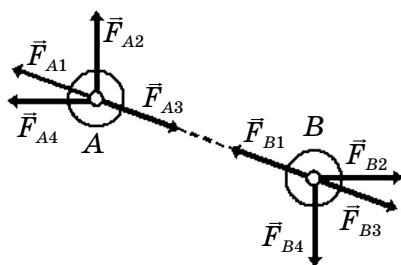


Рис. 40.7. До завдання 1.

- 2 (с). Куля масою 1 кг зіштовхується з кулею невідомої маси. Прискорення, яких набули тіла під час взаємодії 0,2 та 0,4 м/с² відповідно. Обчисліть значення сили взаємодії куль і масу другої кулі. Тертям можна знехтувати.
- 3 (д). Чи може людина:
- а) піднятися вгору, схопившись за кінець мотузки, перекинutoї через закріплений нерухомий блок та прив'язаній другим кінцем до паса людини;
 - б) зрушити з місця човен, коли людина, що перебуває в ньому, натисне на борт;
 - в) витягти саму себе з болота за волосся?
- 4 (д). Порівняйте модулі прискорень двох сталевих куль під час взаємодії, якщо радіус першої кулі в 2 рази більше радіуса другої.
- 5 (д). Порівняйте модулі прискорень двох куль однакового радіуса під час зіткнення, якщо перша куля виготовлена зі сталі, а друга зі свинцю.
- 6 (в). Візок рухається по горизонтальній поверхні зі швидкістю 0,5 м/с. Його наздоганяє другий візок, котрий рухається зі швидкістю 1,5 м/с. Після зіткнення обидва візка рухаються у тому ж напрямку зі швидкістю 1 м/с. Знайдіть відношення мас візків.
- 7 (в). Візок рухається по горизонтальній поверхні зі швидкістю 30 см/с і стикається з нерухомим візком такої ж маси. У результаті візок, який рухався зупинився. Визначіть швидкість руху другого візка після зіткнення.

§ 41. Закон всесвітнього тяжіння

- ▶ Всесвітнє тяжіння
- ▶ Гравітаційна стала
- ▶ Маса — міра гравітації

ВСЕСВІТНЄ ТЯЖІННЯ. Ми знаємо, що планети, зокрема, Земля, обертаються навколо Сонця. Сонце притягує планети. Земля притягує Місяць, утримуючи його на орбіті. Від чого залежить сила взаємного притягання між небесними тілами? Чи тільки небесні тіла можуть взаємодіяти? Чи можна це перевірити, якщо врахувати величезні відстані між небесними тілами: Землі від Сонця (150 000 000 км), Землі від Місяця (384 000 км). Якою має бути сила, щоб утримати на орбіті таку велику планету, як Земля? На ці запитання ми шукатимемо відповіді.

У системі відліку, пов'язаній із Сонцем, планети рухаються приблизно зі сталою за модулем швидкістю по орбітах, близьких до колових. Отже, вони рухаються з прискоренням, спрямованим до Сонця. А це означає, що на планети з боку Сонця діє сила притягання. Якби це притягання до Сонця зникло, планети відлетіли б від Сонця, рухаючись по інерції, тобто прямолінійно й рівномірно (рис. 41.1). І Місяць не міг би бути супутником Землі, якби між Землею і Місяцем не було притягання.

До XVII ст. вчені вважали, що тільки Земля має особливу властивість притягувати до себе всі тіла, перебувають поблизу її поверхні. Ідея зіставити притягання планет до Сонця і притягання тіл до Землі була висловлена Ньютоном у 1667 р. Ньютон висловив дивне для тих часів твердження, що між усіма тілами діють сили взаємного притягання. Це припущення було дивним тому, що у повсякденному житті люди не помічали, що навколишні предмети притягуються один до одного. Згідно зі спогадами Ньютона, це відбулося, коли він, сидячи в саду, побачив яблуко, що падає на землю (рис. 41.2).

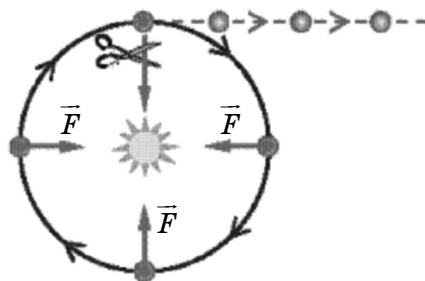


Рис. 41.1 Якби притягання до Сонця зникло, планети відлетіли від Сонця, рухаючись по інерції.

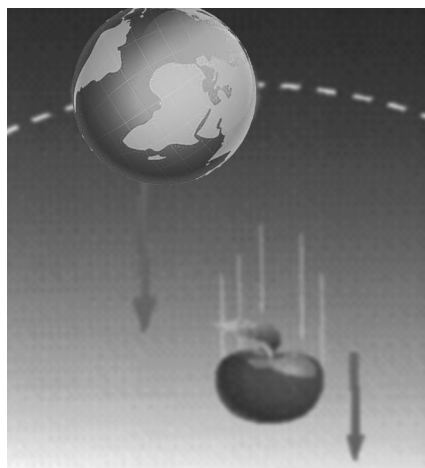


Рис. 41.2. Закону всесвітнього тяжіння підвладні всі тіла

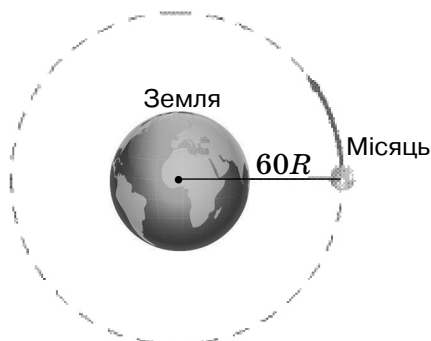


Рис. 41.3. Місяць обертається навколо Землі майже по коловій орбіті

Отже, яблуко падає, оскільки притягує Земля. Таким чином, і Місяць рухається навколо Землі тому, що його притягує Земля. Можливо це притягання має таку саму природу, як і притягання планет до Сонця?

Ньютону було відомо, що Місяць обертається навколо Землі майже по коловій орбіті (рис. 41.3).

Але рух по коловій орбіті можливий за умови, коли на тіло діє сила, що надає йому доцентрового прискорення. Ньютон висловив здогадку, що цією силою є сила взаємного притягання Землі і Місяця. Виконавши необхідні розрахунки, він дійшов висновку, що силу взаємного притягання Місяця і Землі можна обчислити за формулою:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2},$$

де m_1 та m_2 — маси Місяця і Землі; r — відстань між центрами тіл, що взаємодіють; G — коефіцієнт, який називають гравітаційною сталою, $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$.

Ньютон не зупинився на цьому, а припустив, що за одержаною формулою можна розрахувати силу взаємного притягання будь-яких тіл, якщо їхні розміри малі у порівнянні з відстанню між ними. Тому відкритий ним закон одержав назву закону всесвітнього тяжіння.

Два тіла, які можна розглядати як матеріальні точки, притягуються одне до одного із силою, прямо пропорційною добутку їх мас та обернено пропорційною квадрату відстані між ними.

У формулюванні цього закону вказано, що «тіла» треба розглядати як матеріальні точки. Це означає, що закон справедливий лише тоді, коли їх геометричні розміри малі порівняно з відстанню між тілами, і їх можна вважати матеріальними точками. Разом із тим закон справедливий і для великих однорідних куль, розміщених на невеликих відстанях, якщо вважати масу куль зосередженою в їхніх центрах (рис. 41.4)

Так, окинувши подумки «земне» і «небесне», Ньютон припустив, що існує єдиний закон всесвітнього тяжіння, якому підвладні всі тіла у Всесвіті — від яблук до планет.

Слідом за цією здогадкою Ньютон пояснив детально рух усіх відомих на той час планет Сонячної системи, а також Місяця. Для цього йому довелося створити новий розділ вищої математики — диференціальне та інтегральне числення.

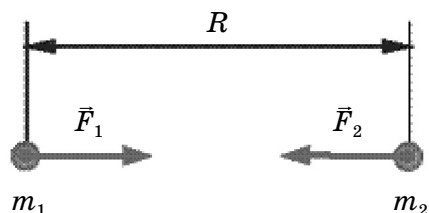


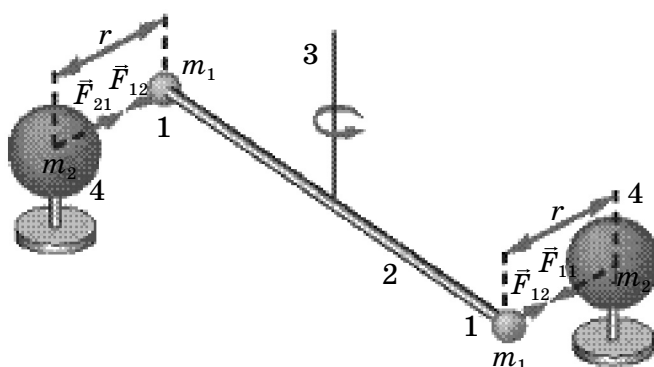
Рис. 41.4. Гравітаційна взаємодія двох неточкових тіл

ГРАВІТАЦІЙНА СТАЛА. У формулу закону всесвітнього тяжіння входить гравітаційна стала або стала тяжіння (коефіцієнт пропорційності, однаковий для всіх тіл). Гравітаційна стала не залежить від середовища, в якому перебувають тіла, від їх руху, фізичних і хімічних властивостей речовини. Знаючи числове значення G , можна визначити масу Землі, виходячи із закону всесвітнього тяжіння.

Щоб визначити гравітаційну сталу G , треба було виміряти силу притягання двох тіл відомої маси, що перебувають на відомій відстані одне від одного. Такий дослід провів у 1798 р. видатний англійський вчений Генрі Кавендіш. Він виміряв надзвичайно малі сили притягання між металевими кулями за допомогою так званих крутильних терезів (рис. 41.5).

Дві кульки 1 однакової маси m_1 були закріплені на кінцях легкого коромисла 2, підвішеного на пружній нитці 3. Кульки перебували на відстані r від масивніших куль 4 масою m_2 . Під дією сил притягання малих кульок до масивніших коромисло повертається. За кутом закручування нитки 3 визначалася сила

Рис. 41.5.
Принципова схема
дослід Кавендіша
з визначення
гравітаційної сталої



гравітаційного притягання куль. Кавендіш знайшов числове значення гравітаційної сталої. У наступних експериментах результат Кавендіша був дещо уточнений:

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}.$$

Гравітаційна стала дорівнює силі гравітаційного притягання двох тіл масою по 1 кг кожне, що перебувають на відстані 1 м одне від одного.

Оскільки гравітаційна стала досить мала, тому сила взаємного притягання між оточуючими нас тілами настільки мала, що ми не відчуваємо притягання до них. Значним виявляється лише притягання тіл до Землі завдяки її величезній масі. Наприклад, Земля взаємодіє з людиною масою 61 кг на відстані 6370 км (радіус Землі) із силою приблизно в 600 Н. А дві людини масами по 61 кг кожна притягаються на відстані 1 м з силою

$$F = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{61 \cdot 61}{1} = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ (Н)}.$$

Тому в повсякденному житті ми не відчуваємо притягання навколишніх тіл і нас самих один до одного.

МАСА — МІРА ГРАВІТАЦІЇ. Ми вже згадували, що маса є мірою інертності тіл. У законі всесвітнього тяжіння виявляється інша властивість тіл — властивість взаємного притягання, і маса тут відіграє іншу роль — міру тяжіння. На одній і тій самій відстані тіла з малою масою притягуються одне до одного з меншою силою, ніж тіла з більшою масою. Отже, маса одночасно виступає і як міра інертності тіл, і як міра гравітаційного притягання, тобто маса є не лише кількісною характеристикою інертності тіла, а й мірою гравітаційної взаємодії тіла з іншими тілами.

! Головне в цьому параграфі

Два тіла, які можна розглядати як матеріальні точки, притягуються одне до одного із силою, прямо пропорційною добутку їх мас та обернено пропорційною до квадрата відстані між ними: $F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$, де m_1 та m_2 — маси Місяця і Землі; r — відстань між центрами тіл, які взаємодіють; G — коефіцієнт, який називають гравітаційною сталою

Гравітаційну сталу визначено експериментально англійським вченим

Генрі Кавендішем, $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$.

Маса одночасно є мірою як інертності тіл, так і їх гравітаційної взаємодії.

? Запитання для самоперевірки

1. Як рухалися б планети, якби їх не притягувало Сонце?
2. Як формулюється закон всесвітнього тяжіння? Хто його відкрив?
3. У чому полягає фізичний зміст гравітаційної сталої?
4. Як визначив Г. Кавендіш гравітаційну сталу?
5. Чому не наближаються один до одного предмети в кімнаті, незважаючи на їх гравітаційне притягання?
6. Що відрізняє гравітаційне поле від електричного і магнітного?
7. Які властивості тіл характеризує маса?
8. У скільки разів сила гравітаційного притягання двох куль масою по 1 кг, що перебувають на відстані 1 м одна від одної, менша за сили їх притягання до Землі?

Вправа до § 41

- 1 (п). Встановіть, як зміниться сила взаємного притягання між тілами, якщо масу кожного з них збільшити у 3 рази.
- 2 (п). Встановіть, як зміниться сила гравітаційної взаємодії, якщо відстань між тілами збільшиться у 2 рази.
- 3 (с). З якою силою притягуються одне до одного два тіла масою по 20 т, якщо відстань між їх центрами мас дорівнює 10 м?
- 4 (с). З якою силою притягується Місяцем гіря масою 1 кг, що знаходиться на поверхні Місяця. Маса Місяця дорівнює $7,3 \cdot 10^{22}$ кг, а її радіус $1,7 \cdot 10^8$ см?
- 5 (д). На якій відстані сила притягання між двома тілами масою по 1 т кожне буде дорівнює $6,67 \cdot 10^{-9}$ Н.
- 6 (д). Два однакові кульки перебувають на відстані 0,1 м один від одного і притягуються з силою $6,67 \cdot 10^{-15}$ Н. Яка маса кожної кульки?
- 7 (д). Визначте масу Сонця, вважаючи орбіту Землі коловою, якщо швидкість обертання Землі навколо Сонця 30 км/с, а радіус земної орбіти $1,5 \cdot 10^8$ км.
- 8 (в). Визначте масу і середню густину Землі. Радіус Землі вважати рівним 6400 км.
- 9 (в). На якій відстані від поверхні Землі сила притягання космічного корабля до Землі в 100 разів менша, ніж на його поверхні?

§ 42. Сила тяжіння. Вага тіла.

Рух тіла під дією сили тяжіння.

- Сила тяжіння
- Вага тіла
- Рух тіла під дією сили тяжіння

СИЛА ТЯЖІННЯ. Всі тіла притягуються одне до одного гравітаційними силами. Сила тяжіння — гравітаційна сила, що діє на тіло з боку Землі. Як пов'язане прискорення вільного падіння з масою тіл та їх висотою над поверхнею Землі?

На тіло масою m , що знаходиться на висоті h над поверхнею Землі (рис. 42.1), діє гравітаційна сила притягання F_g , що дорівнює:

$$F_g = G \frac{m \cdot M_3}{r^2} = G \frac{m \cdot M_3}{(R_3 + h)^2},$$

де M_3 — маса Землі; R_3 — радіус Землі.

Прискорення, якого набуває тіло під дією гравітаційної сили, можна визначити з другого закону Ньютона:

$$a_g = G \frac{M_3}{(R_3 + h)^2}.$$

Поблизу поверхні Землі $h \ll R_3$.

$$F_g = G \frac{m \cdot M_3}{R_3^2}, \text{ звідки } a_g = \frac{F_g}{m} = G \frac{M_3}{R_3^2}; \quad a_g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Прискорення вільного падіння (гравітаційне прискорення) — це прискорення якого набуває тіло під дією гравітаційної сили поблизу поверхні небесних тіл (планет, зірок).

Сила тяжіння, що діє на тіло масою m поблизу поверхні Землі, дорівнює: $\vec{F}_g = m\vec{g}$.

У таблиці наведено гравітаційне прискорення на планетах Сонячної системи, значення якого залежить від їх маси та радіуса.

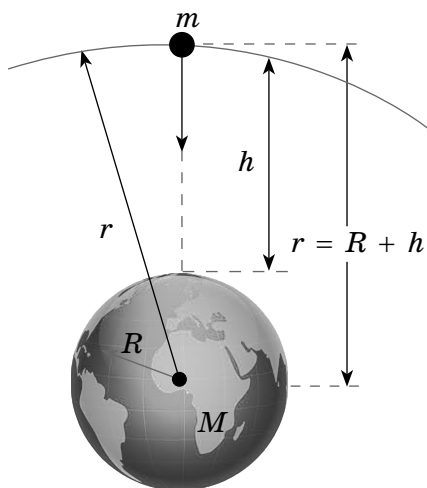


Рис. 42.1. Сила гравітаційної взаємодії тіла і Землі

Небесні тіла	Гравітаційне прискорення, $\frac{м}{с^2}$
Меркурій	3,7
Венера	8,9
Земля	9,8
Місяць	1,6
Марс	3,7
Юпітер	26
Сатурн	12
Уран	11
Нептун	12
Плутон	2

Для всіх тіл на земній поверхні сила тяжіння спрямована до центру Землі, а її значення для кожного окремого тіла залежить від точки земної поверхні.

Виникає запитання: як розуміти слова «вгору» та «вниз»? Наші предки були переконані, що живуть на «плоскій землі» й вважали, що напрям «вниз» для всіх людей один і той самий. Разом із тим для антиподів, які живуть у діаметрально протилежних точках земної кулі, як видно з рис. 42.2, напрямки «вниз» протилежні. Для людини, яка перебуває у стані невагомості (наприклад, на орбітальній станції) поняття «вгору» і «вниз» — наочний приклад того, як буденні слова розширюють свій зміст із розвитком наукового знання.



Рис. 42.2. Для антиподів напрямки «вниз» протилежні.

ВАГА ТІЛА. Поряд із силою тяжіння в побуті та техніці використовують поняття вага тіла.

Вагою тіла називають силу, з якою тіло, притягуючись до Землі, діє на горизонтальну опору або вертикальний підвіс.

Вага тіла не є якоюсь особливою силою специфічного характеру. Ця назва дана частковому випадку прояву сили пружності. Ця назва дана частковому випадку прояву сили пружності. Важливо усвідомити, що вага — це сила, прикладена не до тіла, а до опори чи підвісу, а сила тяжіння прикладена до тіла. Сила

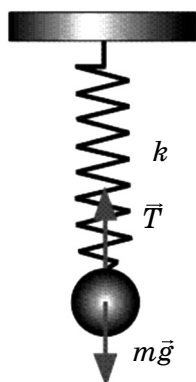


Рис. 42.3. Вага тіла на підвісі

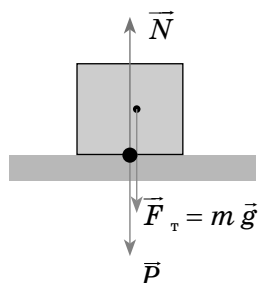


Рис. 42.4. Вага тіла на горизонтальній опорі

тяжіння і вага — це дві різні сили, прикладені до різних тіл і, як побачимо далі можуть відрізнятися за модулем.

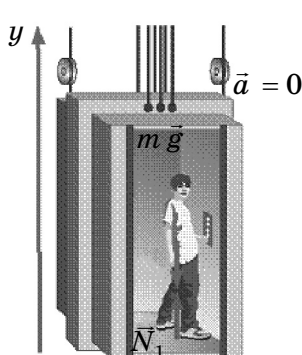
На тіло масою m , підвішеного на пружині, діє сила тяжіння та сила натягу (рис. 42.3).

У рівновазі $T = mg$. Згідно з третім законом Ньютона на пружину з боку тіла діє в напрямку сили тяжіння вага тіла, яка є, рівна за модулем і протилежно спрямована до сили натягу: $\vec{P} = -\vec{T}$.

На тіло, що знаходиться на нерухомій горизонтальній опорі, діють сила тяжіння mg та сила реакції опори N . Згідно з третім законом Ньютона вага тіла і реакція опори, на якій лежить тіло є чисельно однаковими та протилежними за напрямком $\vec{P} = -\vec{N}$ (рис. 42.4). Як видно з рисунку, ці сили прикладені до різних тіл.

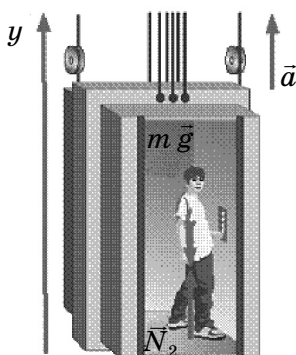
Якщо тіло перебуває в стані спокою або ж рівномірного прямолінійного руху, вага тіла дорівнює чисельно силі тяжіння.

Проте вага тіла не завжди дорівнює його силі тяжіння. Це спостерігається при русі тіла з прискоренням. Із числених випадків руху тіла розглянемо рух тіла по вертикалі вгору донизу на прикладі зміни ваги тіла в ліфті.



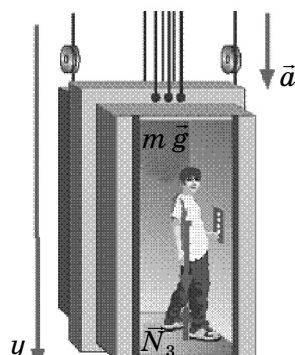
$$N_1 = mg$$

Рис. 42.5. У стані спокою або рівномірного і прямолінійного руху вага тіла дорівнює силі тяжіння



$$N_2 > mg$$

Рис. 42.6. Перевантаження. Збільшення ваги тіла при русі ліфта з прискоренням, спрямованим протилежно прискоренню вільного падіння



$$N_3 < mg$$

Рис. 42.7. При прискореному русі тіла вертикально вниз його вага зменшується

Нехай людина масою m перебуває в ліфті. Користуючись законами Ньютона, визначимо силу тиску людини на підлогу ліфта (вагу) за таких умов:

- а) ліфт стоїть нерухомо або рухається рівномірно;
- б) ліфт рухається зі сталим прискоренням a , спрямованим угору;
- в) ліфт рухається зі сталим прискоренням a , спрямованим униз.

Розглянемо послідовність розв'язання цих задач.

а) *Прискорення ліфта дорівнює нулю ($a = 0$).* На рис. 42.5, а сила тяжіння позначена mg , а сила реакції опори, що діє на тіло — N_1 . Згідно з третім законом Ньютона ця сила реакції рівна за модулем і протилежна за напрямом вазі тіла P_1 . Отже, задача про знаходження ваги тіла зводиться до задачі визначення сили реакції опори.

Запишемо другий закон Ньютона у векторній формі $\vec{a}_1 = \frac{m\vec{g} + \vec{N}}{m}$.

Спрямуємо вісь Y вертикально вгору, врахувавши, що $a = 0$ отримаємо:

$$0 = -mg + N_1 \text{ або } P_1 = N_1 = mg.$$

Вага тіла, яке перебуває у спокої або рухається рівномірно і прямолінійно, дорівнює силі тяжіння.

б) *Ліфт рухається з постійним прискоренням, спрямованим угору (рис. 42.6).*

$$ma = -mg + N_2 \text{ або } P_2 = N_2 = m(g + a).$$

У випадку прискореного руху тіла по вертикалі вгору, його вага P_2 збільшується на величину $m \cdot a$.

Збільшення ваги тіла, викликане рухом по вертикалі вгору, називають перевантаженням, вага тіла більша за гравітаційну силу. Кількісно зростання ваги тіла характеризують коефіцієнтом перевантаження, який визначається відношенням прискорення тіла до прискорення вільного падіння. Наприклад, при запуску космічний корабель може рухатися рівноприскорено з прискоренням $a = 6g$, тобто виникає семикратне зростання ваги. Для уникнення шкідливих наслідків перевантажень на організм космонавти під час старту розмішуються у спеціальних кріслах — ложементах. Перевантаження відчувають пасажери ліфта на початку його підйому, коли ліфт рухається прискорено. Однак величина цього перевантаження та час його дії малі.

в) *Ліфт рухається з прискоренням a , спрямованим вниз. У цьому випадку зручно обрати вісь Y , спрямовану вниз (рис. 42.7).*

$$ma = mg - N_3.$$

Вага $P_3 = N_3 = m(g - a)$, тобто під час прискореного руху тіла по вертикалі вниз його вага зменшується на та.

Під час вільного падіння $a = g$.

Вага при цьому дорівнює нулю, тобто виникає стан невагомості.

Стан тіла, за якого відбувається його взаємодія з опорою (підвісом) і воно рухається тільки під дією сили тяжіння називається невагомістю.



Рис. 42.8. Предмети в космічному кораблі перебувають у стані невагомості. Перший космонавт незалежної України Леонід Каде-нюк під час місії STS-87

Причина невагомості полягає в тому, що коли діє тільки сила тяжіння, воно надає тілу і його опорі однакові прискорення. Тому будь-яке тіло, що рухається під дією тільки сили всесвітнього тяжіння, перебуває у стані невагомості. У стані невагомості перебувають, наприклад, космонавти та навколишні предмети під час орбітальних польотів космічних кораблів. Спостерігаючи за ними за допомогою телебачення, можна бачити, як у кораблі «плавають»

випущені космонавтами предмети (рис. 42.8).

У стані невагомості зникає деформація тіл, викликана їх взаємодією з опорою.

РУХ ТІЛА ПІД ДІЄЮ СИЛИ ТЯЖІННЯ. Як рухається тіло, якщо на нього діє тільки сила тяжіння? Може здатися, що коли на тіло діє тільки сила тяжіння, то воно може тільки падати вниз. Однак це далеко не так: характер руху тіла і вид його траєкторії залежать не тільки від сил, що діють на тіло, а й від його початкової швидкості Розглянемо деякі приклади.

Прямолінійний рух під дією сили тяжіння. Тіло, кинуте вертикально вгору, деякий час продовжуватиме рухатися вгору, незважаючи на те, що на нього діє сила тяжіння, спрямована вниз (рис. 42.9). Цей рух буде рівносповільненим і в певний момент його швидкість стане рівною нулю, після чого тіло почне падати вниз зі зростаючою швидкістю.

Рух тіла, кинутого горизонтально. Нехай з башти висотою h кидають деяке тіло горизонтально (перпендикулярно до радіуса

Землі) з початковою швидкістю v_0 . Сила тертя тіла об повітря дуже мала і нею можна знехтувати. У цьому випадку рух тіла відбуватиметься тільки під дією сили тяжіння. Досвід доводить, що тіло рухається по кривій лінії і через деякий час падає на Землю (рис. 42.10). Визначимо характер траєкторії цього руху. Для цього треба встановити залежність віддалі h , яку проходить тіло по вертикалі, від віддалі s , що проходить тіло по горизонталі (функцію h від s). Рух тіла по вертикалі вниз буде рівноприскореним, а пройдена за деякий час t відстань пропорційна квадратові цього часу: $h = \frac{gt^2}{2}$.

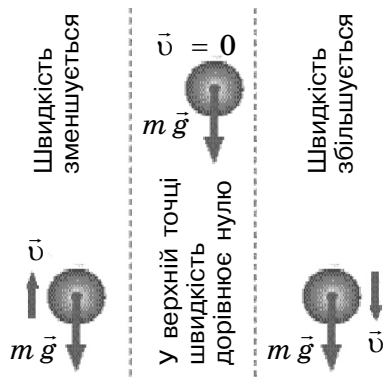


Рис. 42.9. Рух тіла, кинутого вертикально вгору

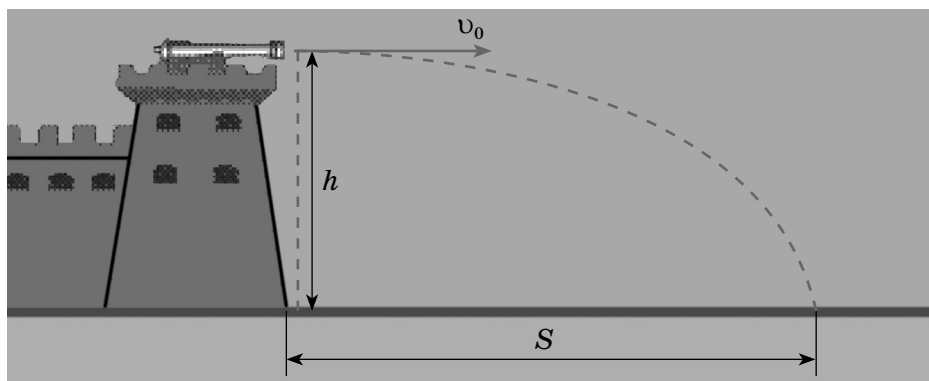


Рис. 42.10. Рух тіла, кинутого горизонтально

У горизонтальному напрямі тіло рухається по інерції зі сталою швидкістю й проходить за той самий час відстань $s = v_0 t$, звідки

$$t = \frac{s}{v_0}.$$

Підставивши значення часу у формулу $h = \frac{gt^2}{2}$, одержимо

$$h = \frac{g}{2} \cdot \left(\frac{s}{v_0} \right)^2 = \frac{g}{2v_0^2} \cdot s^2.$$

Із курсу математики відомо, що залежність такого виду графічно зображується параболою.

! Головне в цьому параграфі

Вага тіла — це сила, з якою тіло діє на горизонтальну опору чи розтягує підвіс, на який воно підвішене, внаслідок притягання до Землі.

Якщо тіло спирається на опору, що рухається з прискоренням a , напрямленим вгору, вага тіла зростає і дорівнює $P = m(g + a)$. Виникає перевантаження — збільшення ваги тіла, спричинене прискореним рухом опори вертикально вгору.

Якщо тіло разом з опорою рухається з прискоренням a , напрямленим вертикально вниз, вага тіла зменшується і дорівнює: $P = m(g - a)$.

Якщо тіло разом з опорою вільно падає, то $a = g$ і $P = 0$. Виникає стан невагомості.

Під час рівномірного піднімання або опускання опори вага тіла не змінюється.

? Запитання для самоперевірки

1. Яку силу називають силою тяжіння?
2. Прискорення вільного падіння не залежить від його маси. А сила тяжіння?
3. Яку силу називають вагою?
4. Де розміщені точки прикладання сили тяжіння і ваги тіла?
5. Під час якого руху ліфта вага тіла, що перебуває в ньому: дорівнює силі тяжіння; більша сили тяжіння; менша сили тяжіння; дорівнює нулю?
6. Що таке перевантаження? Коефіцієнт перевантаження?
7. Що таке невагомість? Які умови стану невагомості?
8. Чи перебуває парашутист у стані невагомості під час руху з розкритим парашутом?

Вправа до § 42

- 1 (с). Чому дорівнює вага вантажу масою 100 кг під час його рівноприскореного підйому ліфтом, якщо ліфт досяг швидкості 3 м/с, пройшовши шлях 18 м?
- 2 (д). На дні шахтової кліті лежить вантаж масою 100 кг. Якою буде вага цього вантажу, якщо кліть: а) піднімається вгору з прискоренням 0,3 м/с²; б) опускається з прискоренням 0,4 м/с²; в) рухається рівномірно; г) вільно падає?
- 3 (д). Бетонну плиту масою 500 кг за допомогою підйомного крана переміщують: а) рівномірно вгору; б) рівномірно вниз; в) горизонтально. Чому дорівнюють сила тяжіння, що діє на плиту, та вага плити в кожному з цих випадків?
- 4 (в). Чому дорівнює радіус кривизни випуклого моста, по якому рухається автомобіль масою 10 000 кг зі швидкістю 10 м/с? Вага автомобіля у верхній точці моста 50 кН.

§ 43. Рух тіла під дією кількох сил

- ▶ Як розв'язувати задачі динаміки
- ▶ Прямолінійний рух тіла під дією кількох сил у горизонтальному і вертикальному напрямі

ЯК РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ ДИНАМІКИ. Головний зміст розв'язування задач з динаміки полягає в тому, щоб за заданими характеристиками визначити взаємозв'язки між ними та записати закон руху.

Основними динамічними величинами є інтервал часу t , маса тіла або системи тіл m , сила взаємодії між тілами F та прискорення a , а також їх проекції на відповідні координатні осі.

Динамічне рівняння прямолінійного рівнозмінного руху записують так:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = m\vec{a}.$$

Задачі з динаміки доцільно розв'язувати, використовуючи алгоритм, що передбачає такі основні кроки.

Крок 1. Записати скорочено умову задачі, де всі величини подати згідно з вимогами СІ.

Крок 2. Обрати інерціальну систему відліку, в якій розглядатиметься рух тіл, встановити початкові значення координат і пов'язати їх з обраним тілом відліку.

Крок 3. Зробити малюнок взаємодії тіл, описаної в задачі, пов'язати рух тіл з обраною системою координат; показати напрями прискорень.

Крок 4. Проаналізувати особливості взаємодії тіл, встановити сили, що діють на дане тіло та зобразити їх на малюнку.

Крок 5. Розглядаючи взаємодію тіл, покладають, що точкою прикладання сил є центр тяжіння тіла.

Крок 6. Записати динамічне рівняння руху тіла у векторній формі.

Крок 7. Зробити проекції на координатні осі векторів прискорень та сили і записати рівняння (закон) руху у загальному вигляді. Якщо кількість невідомих більша за кількість записаних рівнянь, скласти додаткові рівняння, що пов'язують динамічні величини. При цьому врахувати, що проекції векторів є додатними у випадку, коли вони збігаються за напрямом з координатною віссю, або від'ємними у випадку, коли вони протилежні за напрямом.

Крок 8. Якщо у взаємодії (рухові) беруть участь декілька тіл, то потрібно провести аналіз задачі для кожного з тіл.

Крок 9. Розв'язати складені рівняння. Обчислити значення шуканих величин, оцінити їх вірогідність.

Крок 10. Проаналізувати отриману відповідь: вона повинна відповідати фізичному змісту задачі.

Крок 11. Продумати інші можливі шляхи розв'язування цієї задачі. Спробувати розв'язати задачу кількома способами та порівняти результати. Оцінити, який з варіантів розв'язання найраціональніший.

ПРЯМОЛІНІЙНИЙ РУХ ТІЛА ПІД ДІЄЮ КІЛЬКОХ СИЛ У ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ І ВЕРТИКАЛЬНОМУ НАПРЯМІ.

Задача 1. Автомобіль масою 1 т рушає з місця і досягає швидкості 30 м/с за 20 с. Визначити силу тяги, якщо коефіцієнт тертя 0,05.

Дано:

$$m = 1000 \text{ кг}$$

$$v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$t = 20 \text{ с}$$

$$\mu = 0,05$$

$$F_T = ?$$

Розв'язок

На рис. 43.1 вкажемо напрями сил, що діють на автомобіль: силу реакції опори \vec{N} — вертикально вгору; силу тяжіння $m\vec{g}$ — вертикально вниз; силу тертя ковзання $\vec{F}_{\text{тер}}$ — проти руху; силу тяги \vec{F}_T — у напрямі руху. За умовою задачі автомобіль рушає з місця, отже $v_0 = 0$ і набуває швидкості, отже, рух рівноприскорений, напрям вектора прискорення збігається з напрямом швидкості руху.

За другим законом Ньютона:

$$\vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{тер}} + \vec{F}_T = m\vec{a}.$$

У проекціях на координатні осі:

$$OX: F_T - F_{\text{тер}} = ma;$$

$$OY: N - mg = 0;$$

Оскільки $F_{\text{тер}} = \mu mg$, рівняння набуде вигляду:

$$F_T - \mu mg = ma.$$

Згідно з означенням прискорення: $a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{v}{t}.$

$$\text{Отже, } F_T = \mu mg + ma = m\left(\mu g + \frac{v}{t}\right).$$

$$\text{Підставимо числові значення: } F_T = 10^3 \left(0,05 \cdot 9,8 + \frac{30}{20}\right) = 2000 \text{ (Н)}.$$

$$\text{Перевіримо одиниці фізичних величин: } F_T = \text{кг} \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} + \frac{\text{м/с}}{\text{с}}\right) = \text{Н}.$$

Відповідь: сила тяги автомобіля 2 кН.

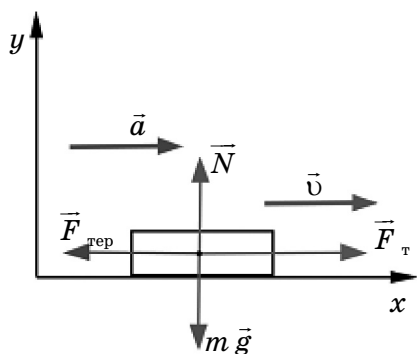


Рис. 43.1. До задачі 1

Задача 2. Тіло масою 3 кг падає в повітрі з прискоренням 8 м/с^2 . Визначити силу опору повітря.

Дано:

$$m = 3 \text{ кг}$$

$$a = 8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$F_{\text{оп}} = ?$$

Розв'язок

У задачах на вільне падіння ми завжди нехтували опором повітря, тому тіла падали з прискоренням $g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. У цій задачі на падаюче тіло діють сила тяжіння та сила опору повітря (рис. 43.2).

За другим законом Ньютона:

$$m\vec{g} + \vec{F}_{\text{оп}} = m\vec{a}.$$

У проекції на вісь Y:

$$mg - F_{\text{оп}} = ma.$$

Звідки $F_{\text{оп}} = m(g - a)$.

Підставимо числові значення:

$$F_{\text{оп}} = 3(9,8 - 8) = 5,4 \text{ (Н)}.$$

Перевіримо одиниці фізичних величин:

$$F_{\text{оп}} = \text{кг} \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} + \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right) = \text{Н}.$$

Відповідь: сила опору повітря 5,4 Н.

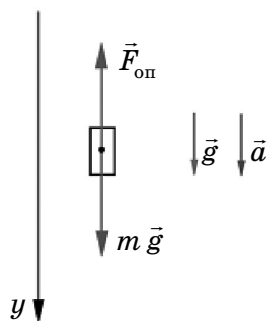


Рис. 43.2. До задачі 2.

Задача 3. По похилій площині з кутом нахилу 30° ковзає дерев'яний брусок масою 300 г. Визначити прискорення бруска, якщо коефіцієнт тертя ковзання 0,33.

Дано:

$$m = 0,3 \text{ кг}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\mu = 0,03$$

$$a = ?$$

Розв'язок

На брусок діють сили (рис. 43.3): \vec{N} — сила реакції опори (направлена перпендикулярно до поверхні), $m\vec{g}$ — сила тяжіння (направлена вертикально вниз); $\vec{F}_{\text{тер}}$ — сила тертя ковзання (направлена проти руху бруска, вздовж поверхні).

Рівнодійна цих сил надає бруску прискорення:

$$\vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{тер}} = m\vec{a}.$$

Спрямуємо вісь X у напрямку руху бруска (вздовж похилої площини). Брусок може ковзати вниз рівноприскорено і напрям вектора прискорення збігатиметься з напрямом вісі X, а може ковзати сповільнено — тоді вектор прискорення направлений у протилежному напрямі відносно вісі X. Припустимо, що брусок ковзає рівноприскорено. Якщо отримане нами значення прискорення виявиться додатним, ми не помилились у виборі, а якщо від'ємним — то брусок ковзає рівносповільнено.

Запишемо проекції сил на координатні вісі.

$$OX: mgsin\alpha - F_{\text{тер}} = ma;$$

$$OY: N - mg \cos\alpha = 0$$

тобто $N = mg \cos\alpha$.

За означенням сила тертя визначається $F_{\text{тер}} = \mu N$. Оскільки на похилій площині сила реакції опори, що діє на брусок $N = mg \cos\alpha$, то сила тертя відповідно:

$$F_{\text{тер}} = \mu mg \cos\alpha.$$

Отже, закон руху бруска вздовж осі X має вигляд

$$mg \sin\alpha - \mu mg \cos\alpha = ma.$$

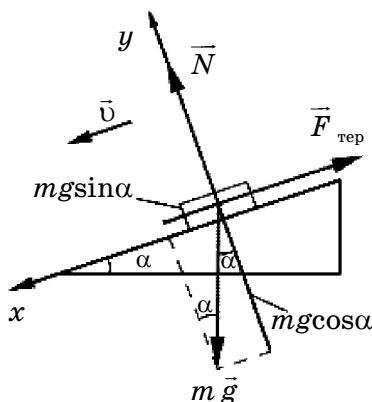


Рис. 43.3. До задачі 3

$$\text{Звідки } a = g(\sin\alpha - \mu \cos\alpha); \quad a = 9,8 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} (0,5 - 0,33 \cdot 0,866) = 2 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}.$$

Можна зробити такий висновок: прискорення тіла, що ковзає по похилій площині, не залежить від його маси, а визначається кутом нахилу похилої площини та коефіцієнтом тертя між ним і поверхнею:

якщо $\sin\alpha > \mu \cos\alpha$ — тіло ковзає вниз рівноприскорено;

якщо $\sin\alpha < \mu \cos\alpha$ — тіло ковзає вниз рівносповільнено;

якщо $\sin\alpha = \mu \cos\alpha$ — тіло ковзає вниз рівномірно або взагалі не рухається.

Відповідь: прискорення бруска 2 м/с^2 .

Вправа до § 43

- 1 (д). З яким прискоренням рухатиметься тіло масою 1 кг, якщо сила тяги дорівнює 2 Н, а сила тертя — 0,1 Н?
- 2 (д). Планер масою 200 кг рухається на південь і гальмується силою зустрічного вітру 1 кН. Чому дорівнює і який напрям має прискорення планера?
- 3 (д). Літак рухається з прискоренням 3 м/с^2 під дією трьох сил: сили тяги 11,5 кН, сили попутного вітру 1 кН та сили опору повітря 0,5 кН. Визначте масу літака.
- 4 (в). На похилій площині завдовжки 13 м і заввишки 5 м лежить вантаж, маса якого 26 кг. Коефіцієнт тертя дорівнює 0,5. Яку силу треба прикласти до вантажу вздовж площини, щоб витягнути вантаж? Щоб стягнути вантаж? Рух вважати рівномірним.
- 5 (в). З яким прискоренням рухається брусок по похилій площині з кутом нахилу 30° , якщо коефіцієнт тертя 0,2?

§ 44. Імпульс. Закон збереження імпульсу

- ▶ *Замкнута система тіл*
- ▶ *Імпульс тіла. Імпульс сили*
- ▶ *Закон збереження імпульсу*

ЗАМКНУТА СИСТЕМА ТІЛ. Будь-які фізичні явища, як природні, так і штучно відтворені людиною, є наслідком і причиною постійних взаємодій між тілами. Взаємодіють Сонце і планети, Земля і Місяць, різноманітні тіла, що оточують людину в повсякденному житті. Одні взаємодії є досить значними і їх потрібно враховувати. Інші настільки незначні, що ними можна знехтувати, вирішуючи як практичні завдання, так і розв'язуючи фізичні задачі. Так, досліджуючи рух певного тіла, враховують притягання до Землі, і не враховують гравітаційну взаємодію з іншими тілами. Ця взаємодія для тіл порівняно невеликих мас є такою незначною (наприклад, тіла масами 1 та 10 тонн, розташовані на відстані 1 м, притягуються одне до одного силою приблизно 0,7 мН), що її можна не враховувати, визначаючи швидкість та прискорення цих тіл.

Вивчаючи у попередніх параграфах рух тіла під дією сили тяжіння, ви враховували взаємодію між тілами та Землею, і не враховували його взаємодію з іншими тілами, велика кількість яких перебувала поруч. При цьому спеціально були виділені тіла, що утворили окрему, так звану замкнену, або ізолювану, систему.

Замкнутою, або ізолюваною, називають систему, в якій тіла, що входять до неї, взаємодіють між собою, і не взаємодіють з тілами, які до цієї системи не входять, або такі взаємодії є незначними і їх не враховують.

Важливість замкнутих (ізолюваних) систем у механіці та й у фізиці загалом визначається тим, що саме в них залишаються незмінними фізичні величини, зокрема, такі характеристики механічного руху, як імпульс та енергія.

ІМПУЛЬС ТІЛА. ІМПУЛЬС СИЛИ. За другим законом Ньютона, важливими характеристиками руху тіла є його маса і швидкість, зміну якої характеризує прискорення. Тіла однієї й тієї самої маси, що мають різні швидкості, рухаються по-різному. Маленька піщинка, що з прискоренням вільного падіння осідає на руку, майже не відчутна. Ця ж піщинка, приведена в рух ураганом, може пошкодити паперову перепону і навіть тонке скло.

Аналогічно по різному рухаються й тіла, що мають однакові швидкості, але різні маси. Куля масою 10 кг, рухаючись із порівняно невеликою швидкістю, досить легко може деформувати чи навіть пробити гіпсокартонну або дерев'яну стіну. Тоді як куля масою 100 г, що рухається з такою самою швидкістю, зупиниться, досягнувши перешкоди, або рухатиметься у зворотний бік. Такі принципові відмінності в русі тіл зумовлені наявністю крім маси та швидкості ще однієї важливої характеристики руху — його кількості, яку у фізиці називають імпульсом.

Імпульс тіла — це векторна фізична величина, що є мірою механічного руху і визначається як добуток маси тіла на його швидкість.

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

Одиницею імпульсу тіла в СІ є імпульс тіла масою 1 кг, що рухається зі швидкістю 1 м/с:

$$[p] = \text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}.$$

Числові значення імпульсу тіла розраховують, використовуючи його масу та швидкість.

Приклад. Яке з двох тіл масами 1 кг та 10 кг, що рухаються зі швидкістю 10 м/с, має більший імпульс і у скільки разів?

Дано:

$$m_1 = 1 \text{ кг}$$

$$m_2 = 10 \text{ кг}$$

$$v = 10 \text{ м/с}$$

$$\frac{p_1}{p_2} - ?$$

Розв'язок

Імпульс тіла можна визначити за формулою:

$$\vec{p} = m\vec{v}.$$

Після підстановки значень отримуємо:

$$p_1 = 1 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 10 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}; \quad p_2 = 10 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 100 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}};$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{10}{100} = 0.1.$$

Відповідь: імпульс другого тіла в 10 разів більший.

Імпульс сили визначається добутком середнього значення сили за певний інтервал часу та тривалістю цього інтервалу: $\vec{F}t$.

Одиницею імпульсу сили є Н · с.

Отже, другий закон Ньютона можна сформулювати і таким чином: у результаті дії сили змінюється імпульс тіла. Зміна імпульсу дорівнює добутку сили, прикладеної до тіла, на час дії сили: $m\vec{v} - m\vec{v}_0 = \vec{F}t$. Це означає, що одна і та сама сила протягом одного і того ж інтервалу часу викликає у будь-якого тіла однакову зміну імпульсу.

Імпульс тіла і імпульс сили — векторні величини. Вектор імпульсу направлено так само, як і вектор швидкості руху тіла, а вектор імпульсу сили — як вектор сили.

Уразі дії однакових сил зміна імпульсу тіла буде більшою, якщо час дії сили більший. Чим триваліша дія сили, тим більшою буде зміна імпульсу тіла.

ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ ІМПУЛЬСУ. На початку цього параграфа було зауважено, що імпульс є однією з тих характеристик механічного руху, яка має властивість зберігатися. Тому закон збереження імпульсу розглядають як один із фундаментальних законів не тільки механіки, фізики, а й природи. Встановити цей закон можна, розглянувши пружну взаємодію двох кульок (рис. 44.1).

Нехай замкнена система містить дві кульки масами m_1 та m_2 , які у початковий момент у вибраній інерціальній системі відліку мали швидкості \vec{v}_{01} та \vec{v}_{02} . Через деякий час їхні швидкості внаслідок взаємодії змінились до \vec{v}_1 та \vec{v}_2 .

За третім законом Ньютона кульки взаємодіють із силами, рівними за модулем та протилежними за напрямом $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$.

Виразимо ці сили за другим законом Ньютона $\vec{F}_1 = m_1 \frac{\vec{v}_1 - \vec{v}_{01}}{t}$;

$$\vec{F}_2 = m_2 \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_{02}}{t}.$$

Тоді $\frac{m_1 \vec{v}_1 - m_1 \vec{v}_{01}}{t} = -\frac{m_2 \vec{v}_2 - m_2 \vec{v}_{02}}{t}$, або

$$m_1 \vec{v}_1 - m_1 \vec{v}_{01} = -(m_2 \vec{v}_2 - m_2 \vec{v}_{02}).$$

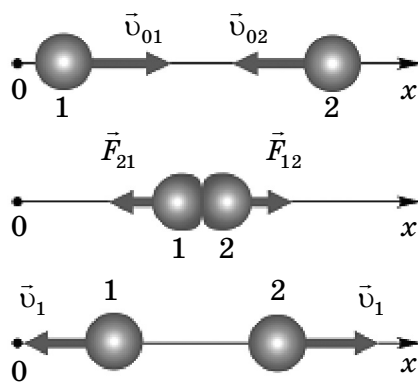


Рис. 44.1. Закон збереження імпульсу під час пружної взаємодії двох кульок

Якщо перенести імпульси тіл до взаємодії по один бік рівності, а після взаємодії — в другу, то отримаємо:

$$m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2.$$

Закон збереження імпульсу: геометрична сума імпульсів тіл, які утворюють замкнену систему, є величиною сталою під час будь-яких рухів і взаємодій тіл системи:

$$m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$$

Ми отримали закон збереження імпульсу на підставі законів Ньютона, але слід наголосити, що закон збереження імпульсу не є наслідком законів Ньютона — це фундаментальний самостійний закон природи. Цей закон виконується для тіл макро- і мікросвіту. Він є основою багатьох фізичних явищ, проявляється в живій природі й використовується в науці та техніці.

Застосування закону збереження імпульсу дає можливість розв'язувати деякі силові взаємодії без використання основного закону динаміки (другого закону Ньютона).

Приклад. Під час запуску моделі ракети масою 250 г з неї вийшло майже миттєво 50 г стиснутого повітря зі швидкістю 2 м/с. Визначити швидкість, з якою буде рухатись ракета.

Дано:

$$M = 250 \text{ г} = 0,25 \text{ кг}$$

$$m = 50 \text{ г} = 0,05 \text{ кг}$$

$$v_m = 2 \text{ м/с}$$

$$v_M = ?$$

Розв'язок

Запишемо закон збереження імпульсу, вважаючи систему «модель ракети—повітря» замкнутою $M \vec{v}_0 = (M - m) \vec{v}_M + m \vec{v}_m$.

Якщо вважати, що початкова швидкість моделі ракети 0, а вісь OX спрямувати у напрямку руху ракети, тоді

$$0 = (M - m) v_M - m v_m.$$

$$\text{Отже } (M - m) v_M = m v_m, \quad v_M = \frac{m v_m}{(M - m)}.$$

Підставивши значення величин, отримаємо:

$$v_M = \frac{0,05 \text{ кг} \cdot 2 \text{ м/с}}{0,25 \text{ кг} - 0,05 \text{ кг}} = 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Відповідь: Модель ракети рухається зі швидкістю 0,5 м/с.

! Головне в цьому параграфі

Імпульсом або кількістю руху тіла називають векторну фізичну величину, що дорівнює добутку його маси на швидкість. Одиницею імпульсу тіла в СІ є $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.

Зміна імпульсу тіла пропорційна прикладеній до нього силі й має той самий напрям, що й сила.

Закон збереження імпульсу виконується у замкненій системі. Геометрична сума імпульсів тіл, які утворюють замкнену систему, є величиною, сталою під час будь-яких рухів і взаємодій тіл системи:
 $m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$.

? Запитання для самоперевірки

1. Чому імпульс називають кількістю руху?
2. Наведіть приклади ізольованих, замкнених систем.
3. Чи можна вважати замкненою систему «човен—рибалка—поверхня води», «кулька на нитці—повітря», «кулька на підвісі—повітря». Чому?
4. Які з вказаних взаємодій можна не враховувати, вивчаючи рух природного супутника Землі — Місяця: а) дію Землі; б) дію Сонця; в) дію штучного супутника Землі; г) дію далеких зірок.
5. Чи матиме тіло імпульс, якщо на нього не діє сила?
6. Чи відрізняються за модулем і напрямом імпульс тіла та імпульс сили?
7. Які природні явища підтверджують закон збереження імпульсу?
8. Чому закон збереження імпульсу називають фундаментальним законом природи?

Вправа до § 44

- 1 (д). На тіло масою 2 кг протягом 2 с діяла сила 2 Н. Визначте імпульс сили та прискорення руху тіла.
- 2 (д). Рух матеріальної точки описується рівнянням $x = 5 - 8t + 4t^2$. Вважаючи, що маса точки дорівнює 2 кг, визначте імпульс через 2 с і через 4 с після початку відліку часу.
- 3 (в). Молекула масою $4,65 \cdot 10^{-26}$ кг пружно вдаряється об стінку посудини та відбивається від неї без втрати швидкості. Визначте імпульс сили, отриманий стінкою, якщо молекула летить та відбивається: а) перпендикулярно; б) під кутом 30° до стінки. Швидкість молекули 600 м/с.

§ 45. Реактивний рух. Досягнення космонавтики

- Реактивний рух як прояв закону збереження імпульсу
- Застосування реактивного руху в техніці. Розвиток космонавтики

РЕАКТИВНИЙ РУХ ЯК ПРОЯВ ЗАКОНУ ЗБЕРЕЖЕННЯ ІМПУЛЬСУ. Реактивний рух можна спостерігати на прикладі роботи приладів шкільної фізичної лабораторії. Одним із них є так зване сегнерове колесо (рис. 45.1). Конічна посудина з водою може вільно обертатися навколо нерухомої осі, а вода витікає з неї через дві загнуті трубки. Кожна з трубок починає рухатися внаслідок відокремлення (витоку) води в напрямку, протилежному напрямку витікання води.

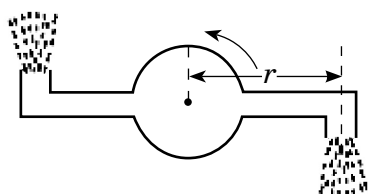


Рис. 45.1. Сегнерове колесо — реактивний прилад

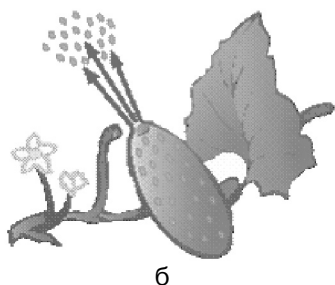
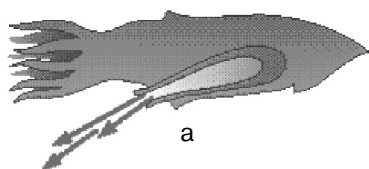


Рис. 45.2. Приклади реактивного руху в природі

Оскільки реактивний рух не потребує для свого підтримання додаткових тіл, крім тих, що утворюють систему (тіло), він є досить поширеним у природі. Окремі живі організми використовують закон збереження імпульсу для свого переміщення у просторі. Деякі мешканці морів та океанів можуть створювати реактивні струмені. Так кальмари та каракатиці заповнюють водою порожнисті частини тіла, а потім за допомогою спеціальних м'язів виштовхують її назовні з великою швидкістю (рис. 45.2, а). При цьому їм вдається досить швидко переміщуватися.

Деякі сорти городніх культур (наприклад, огірки) після досягання випускають назовні з великою швидкістю своє насіння. Воно рухається в один бік, а сама рослина — в інший (мал. 45.2, б).

ЗАСТОСУВАННЯ РЕАКТИВНОГО РУХУ В ТЕХНІЦІ. РОЗВИТОК КОСМОНАВТИКИ. Важливість реактивного руху визначається можливістю його використання в умовах, коли відсутній вплив інших тіл. Умовою руху, який ми спостерігаємо зазвичай навколо себе, є наявність сили тертя (рух по поверхні Землі) або

сили опору повітря (рух у повітрі), і, відповідно, наявність інших тіл, що й дають можливість рухатися певному тілу.

Реактивний рух може відбуватися і за відсутності навколо тіла, що рухається, інших тіл, тобто в навколоземному, космічному просторі або вакуумі.

Ідею реактивного руху реалізовано в ракетах — спеціальних пристроях, призначених для польотів за межі нашої планети та дослідження близького і далекого космосу. Загалом ракета складається з двох основних тіл, що утворюють замкнену систему, в якій виконується закон збереження імпульсу — робоча частина

та пальне. Робоча частина складається з оболонки, реактивного двигуна, відсіку для обладнання та космонавтів. При цьому основну частину маси ракети складає маса пального (мал. 45.3).

Найпоширенішими сучасними реактивними двигунами є двигуни, що працюють на рідкому паливі. Такі двигуни мають спеціальну камеру згорання, до якої закачується рідке паливо із зовнішніх резервуарів. За допомогою окислювачів паливо спалюється, у результаті чого утворюються розжарені гази дуже високої температури.

Вони створюють тиск на стінки камери згорання. Задня стінка має спеціальне сопло, через яке розжарений газ виходить назовні. Оскільки сила тиску на передню стінку значно перевищує тиск на задню стінку, створюється реактивна сила тяги, що рухає ракету вперед.

Перші у світі ракети, що були використані для подолання сили земного тяжіння і виведення на орбіту Землі першого штучного супутника у 1957 р. та польоту першого космонавта у 1961 р., розроблялися під керівництвом нашого співвітчизника академіка С. П. Корольова. Одні з перших рідинних реактивних двигунів були розроблені під керівництвом українського вченого, академіка В. П. Глушка. Реактивні двигуни його конструкції забезпечували надійну роботу космічних апаратів (мал. 44.5).

Важливими показниками сучасної ракети є її максимальна швидкість та маса пального. Максимальна швидкість характери-

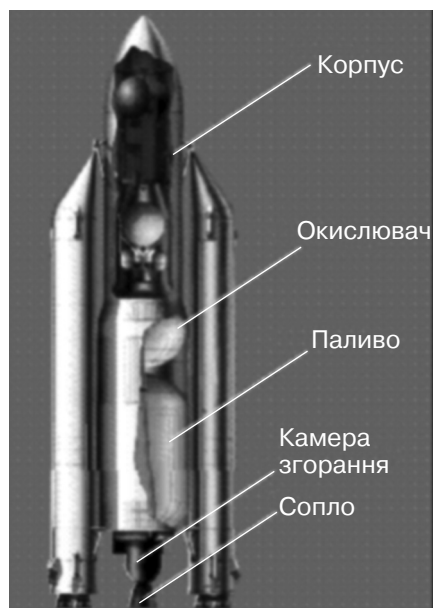


Рис. 45.3 Схема будови ракети.

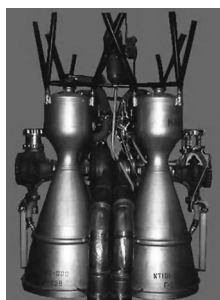


Рис. 45.4. Реактивний
двигун конструкції
В. П. Глушка



Видатний конструктор
космічних
апаратів академік
С. П. Корольов
(1906—1966)



Конструктор
реактивних двигунів
В. П. Глушко
(1908—1989)

зує можливість ракети подолати, наприклад, силу земного тяжіння (перша космічна швидкість) і вийти на орбіту штучного супутника Землі, вийти на орбіту навколо Сонця (друга космічна швидкість) або залишити межі Сонячної системи.

Швидкість ракети тим більша, чим більше відношення маси палива до маси корпусу ракети, а також чим більша швидкість витікання газу із сопла реактивного двигуна. Щоб збільшити корисне співвідношення мас пального та корпусу, використовують багатоступінчаті ракети (рис. 45.5). Кожний ступінь такої ракети має свій реактивний двигун та баки з паливом, що відкидаються після використання пального в цьому бакові.

Велику роль у дослідженні руху ракети відіграв талановитий російський учений К. Е. Ціолковський, який першим запропонував узагальнену формулу для визначення швидкості руху ракети («формула ракети»), ідею багатоступінчатих ракет тощо. Наш співвітчизник Ю. В. Кондратюк (О. Г. Шаргей) незалежно від К. Е. Ціолковського іншими методами отримав рівняння руху ракети, що стало підтвердженням об'єктивного характеру розвитку вчення про реактивні пристрої. В історію світової астронавтики увійшла і «зоряна траса» Ю. В. Кондратюка — схема гравітаційного маневру для польоту на інші тіла нашої планетної системи (рис. 45.6). Цю схему було вдало використано американськими астронавтами під час польоту на природний супутник Землі — Місяць у 1969 р.

Нині наша країна є космічною державою, однією з небагатьох, що проектують і виготовляють ракети-носії для виведення на орбіту штучних супутників, космічних кораблів на станції. Вітчизняні реактивні носії «Зеніт» щороку здійснюють польоти

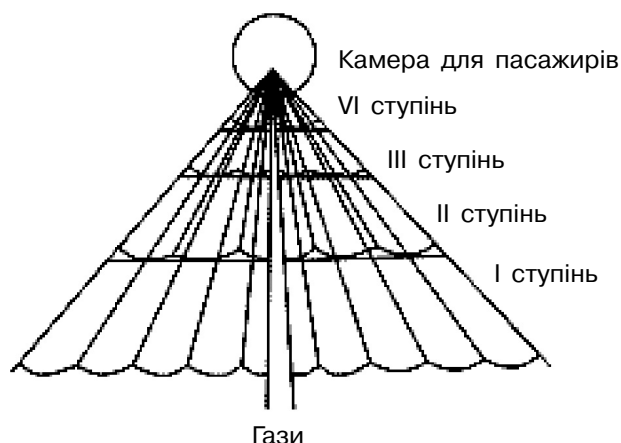


Рис. 45.5. Схема багатоступінчатої ракети Ю. В. Кондратюка

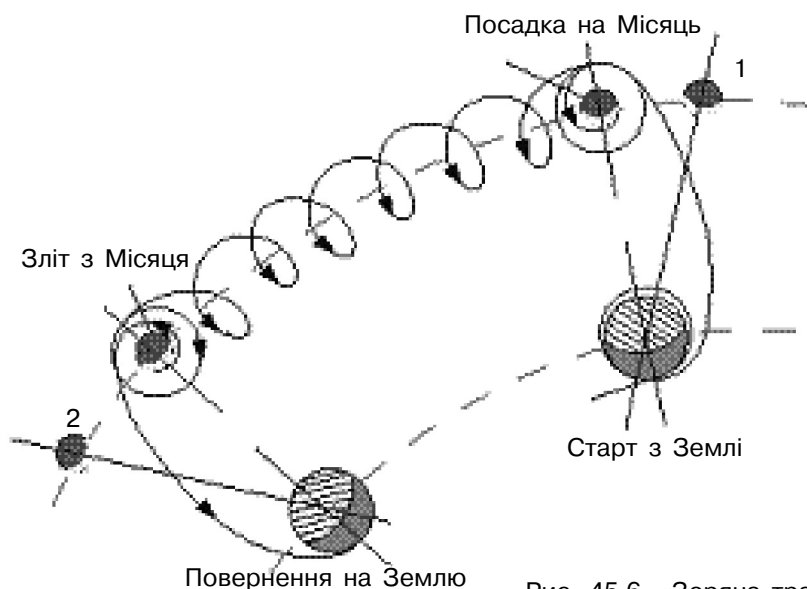


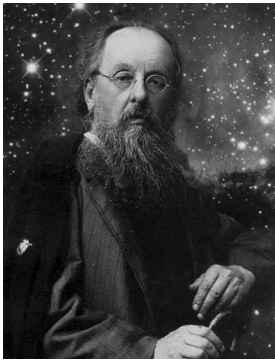
Рис. 45.6. «Зоряна траса» Кондратюка

з наземних та морських космодромів. Вони виводять на орбіту штучні супутники, розганяючись до першої космічної швидкості (рис. 45.7). Цей шлях, що називається траєкторією виведення ШСЗ на орбіту, становить зазвичай від декількох сотень до двох-трьох тисяч кілометрів.

Ракета стартує, рухаючись вертикально вгору, розвертається



Рис. 45.7. Траєкторія виведення ракети на орбіту



К. Е. Циолоковський
(1857—1935), один
з основоположників
космонавтики



Ю. В. Кондратюк
(1897—1943), один
з основоположників
космонавтики

приблизно горизонтально і розганяється до так званої розрахункової швидкості. Космічний апарат, що є метою запуску, несе останній ступінь ракети; він автоматично відокремлюється від нього і починає свій рух по деякій орбіті відносно Землі, стаючи штучним небесним тілом.

За метою та завданнями ШСЗ поділяють на дві великі групи — науково-дослідні прикладні. Науково-дослідні супутники призначені для одержання наукової інформації про Землю, навколосезонний простір, з біології і медицини. Прикладні супутники призначені для задоволення практичних потреб людини, одержання інформації в інтересах народного господарства.

Супутники зв'язку призначені для передачі телевізійних програм, забезпечення радіотелефонного та телеграфного зв'язку між наземними пунктами, розміщеними на великих відстанях один від одного.

Метеорологічні супутники регулярно передають на наземні станції зображення хмарного, снігового і льодового покриву Землі, відомості про температуру земної поверхні та різних шарів атмосфери тощо.

Спеціалізовані ШСЗ використовуються для вивчення природних ресурсів Землі. Апаратура цих ШСЗ передає інформацію, важливу для різних галузей народного господарства: для прогнозування врожаїв сільськогосподарських культур, визначення районів, перспективних для пошуку

корисних копалин, для контролю за забрудненням природного середовища (атмосфери, водойм).

Навігаційні ШСЗ дають змогу швидко й точно визначати місцезнаходження морських кораблів у будь-якій точці світового океану, незалежно від погодних умов.

Місяць став першим після Землі небесним тілом, на орбіті навколо якого були виведені штучні супутники. Навколо Марса штучні супутники з'явилися у 1971 р., а навколо Венери у 1975 р.



Рис. 45.8. Українська ракета «Зеніт»
на стартовому столі морської платформи

Україна — велика космічна держава, що бере участь у розробленні і виготовленні космічної техніки і ракет, у здійсненні космічних польотів. На рис. 45.8 — українська ракета-носіє «Зеніт» на стартовому столі морської платформи (програма «Морський старт»).

! Головне в цьому параграфі

Реактивний рух є проявом закону збереження імпульсу.

Система, що здійснює реактивний рух, не потребує взаємодії з іншими тілами, крім тих, що входять до неї. Тому вона забезпечує можливість переміщення в навколосемному просторі.

? Запитання для самоперевірки

1. Яка важлива особливість реактивного руху забезпечує його широке використання в сучасній техніці?
2. Які основні складові сучасної ракети?
3. Які характеристики ракети визначають її максимальну швидкість?
4. Яким чином створюється реактивна сила в реактивному двигуні?
5. Яким чином вирішують питання необхідності збільшення відношення корисної маси до маси оболонки ракети?

Готуємось до виконання навчального проекту.

Запропонуйте власну схему космічної ракети майбутнього. Розкрийте внесок вітчизняних учених і конструкторів до справи освоєння космосу.

§ 46. Застосування законів збереження енергії і імпульсу в механічних явищах

- Закон збереження механічної енергії
- Закони збереження в механіці
- Комбіновані задачі на закони збереження енергії і імпульсу

ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ. Під час вивчення механіки у 7-му класі ви вже ознайомились із законом збереження й перетворення енергії в механічних процесах. Існує декілька видів механічної енергії: кінетична і потенціальна.

Кінетична енергія тіла. Тіло масою m , що рухається зі швидкістю \vec{v} , має кінетичну енергію $E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$.

Потенціальна енергія тіла, піднятого над Землею. Якщо тіло масою m , що знаходиться на висоті h , відносно рівня підлоги, прийнятого за нуль, у полі сил тяжіння з прискоренням вільного падіння \vec{g} дорівнює $E_{\pi} = m \cdot g \cdot h$.

Потенціальна енергія пружини з коефіцієнтом жорсткості k , стиснутої або розтягнутої на Δx , дорівнює $E_{\pi} = \frac{k \cdot (\Delta x)^2}{2}$.

Закон збереження енергії. У замкнених системах повна енергія (потенціальна + кінетична + теплова) системи тіл зберігається: $E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n = \text{const}$. Якщо при цьому можна знехтувати переходом механічної енергії (потенціальна + кінетична) в теплову, то зберігається механічна енергія системи. $E_{\text{мех}} = E_k + E_{\pi} = \text{const}$.

Потенціальна енергія кульки, що скочується (рис. 46.1), зменшується настільки $E_{\pi} = m \cdot g \cdot h$, наскільки зростає при цьому її кінетична енергія $E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$, $E_{\pi} = E_k$.

Пружним ударом називається така короткочасна взаємодія тіл, після якої тіла повністю відновлюють свою форму, а їх сумарна кінетична енергія не змінюється. При абсолютно пружному ударі виконуються закон збереження імпульсу і закон збереження механічної енергії.

Абсолютно непружним ударом називається короткочасна взаємодія тіл, після якої тіла, що співударяються, утворюють єдине тіло, яке рухається з певною швидкіс-

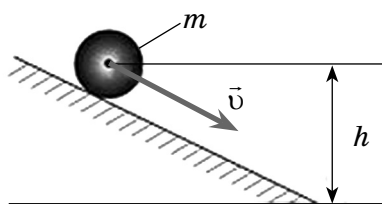


Рис. 46.1. Перетворення потенціальної енергії в кінетичну

тю, а сумарна кінетична енергія тіл зменшується. При абсолютно непружному ударі виконується закон збереження імпульсу, а механічна енергія не зберігається, частина її перетворюється у внутрішню енергію тіл.

ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ У МЕХАНІЦІ. Детальний розгляд поведінки системи за допомогою рівнянь руху часто буває пов'язаним із великими математичними труднощами. А в тих випадках, коли закони дії сил невідомі, такий підхід виявляється в принципі неможливим. Тому виникає запитання: чи немає яких-небудь загальних принципів, які дали б змогу інакше підійти до розв'язання цієї задачі? Виявляється, такі принципи є. Це закони збереження. Закони збереження допомагають розглянути загальні властивості руху без розв'язання рівнянь руху і докладної інформації про розвиток процесів у часі.

Закони збереження були встановлені дослідним шляхом, як узагальнення величезної кількості експериментальних фактів. У механіці мають значення три закони збереження: закон збереження енергії, закон збереження імпульсу, закон збереження моменту імпульсу (який не вивчається в курсі фізики середньої школи).

Щоб краще зрозуміти закони збереження в механіці, має сенс звернутися до власного життєвого досвіду. Напевно, у дитинстві кожен кидав на металеву основу невеликий, але масивний кульку або звичайний м'ячик. При цьому він підстрибував вгору і знову падав. Так повторювалося доти, поки рух мимоволі не припинявся. А як же закон збереження енергії в механіці? Адже, за логікою, потенціальна енергія падаючого м'яча повинна цілком перетворюватися в кінетичну, і навпаки. Майже «вічний двигун». Невже в цьому випадку закони збереження в механіці не виконуються? Насправді в цій ситуації на систему впливають тертя об молекули повітря і внутрішні деформації поверхні і м'яча. Саме вони «крадуть» свою частину енергії, через що куля поступово перестає підстрибувати (до речі, тому в рамках класичної механіки неможливе створення вічного двигуна). Універсальність законів збереження дає змогу використовувати їх не тільки при розрахунках взаємодії систем макросвіту, а й, частково, в мікросвіті. Ні траєкторія руху, ні вид сил, які діють на систему, не впливає на результат — закони збереження працюють!

Закони збереження в механіці актуальні для будь-якого механічного явища. Фактично закон збереження є фундаментальним принципом, відповідно до якого живе весь Всесвіт.

Алгоритм розв'язування задач на закони збереження в механіці.

Крок 1. Де це необхідно, слід виконати рисунок. Причому треба намалювати, що відбувається з системою на кожному етапі.

Крок 2. Вказати швидкість тіл і яку енергію має система на кожному малюнку.

Крок 3. Записати рівняння закону збереження імпульсу й енергії для кожного етапу і розв'язати систему одержаних рівнянь відносно невідомої величини.

Крок 4. Розв'язати рівняння відносно шуканих величин.

Задача 1. У балістичний маятник (рис. 46.2) $M = 5$ кг потрапила куля масою $m = 10$ г і застрягла в ньому. Знайти швидкість v кулі й частину механічної енергії, яка перейшла в тепло, якщо маятник, відхилившись після удару, піднявся на висоту $\Delta h = 10$ см. ($g = 10 \text{ м/с}^2$)

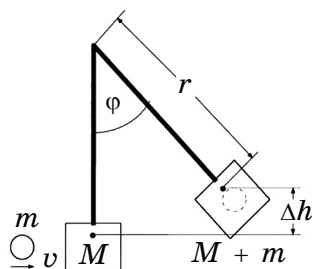


Рис. 46.2. Балістичний маятник

Дано:

$M = 5$ кг

$m = 10 \text{ г} = 10^{-2} \text{ кг}$

$h = 10 \text{ см} = 10^{-1} \text{ м}$

$g = 10 \text{ м/с}^2$

$v = ?$

$\Delta E = ?$

Розв'язок

Удар непружний, тому механічна енергія не зберігається, а імпульс зберігається. Запишемо закон збереження імпульсу: $mv = (M+m)v_1$, де v_1 — сумісна швидкість руху (маятник+куля).

Після удару система рухається за інерцією і можна користуватися законом збереження енергії. Енергії системи відразу після удару і у момент повного відхилення рівні:

$$\frac{(M+m) \cdot v_1^2}{2} = (M+m)gh.$$

Розв'язавши систему отриманих рівнянь $mv = (M+m)v_1$ і $\frac{(M+m) \cdot v_1^2}{2} = (M+m)gh$ відносно v , отримаємо:

$$v = \frac{(M+m) \cdot \sqrt{2gh}}{m} = 70,85 \text{ м/с. } [v] = \frac{\text{кг} \cdot \sqrt{\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \text{м}}}{\text{кг}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Для того, щоб обчислити енергію, що перейшла в тепло, відніmemo від кінетичної енергії кулі потенціальну енергію після моменту зіткнення.

$$\begin{aligned}\Delta E &= \frac{m \cdot v^2}{2} - (M + m) \cdot g \cdot h = \\ &= m \cdot g \cdot h \frac{(M + m)^2}{m} - (M + m) \cdot g \cdot h = g \cdot h \cdot \frac{(M + m)}{m} \cdot M. \\ [\Delta E] &= \frac{\text{м} \cdot \text{м} \cdot \text{кг}}{\text{с}^2 \cdot \text{кг}} \cdot \text{кг} = \text{Дж}. \\ \Delta E &= 2505 \text{ Дж} \approx 2,5 \text{ кДж}.\end{aligned}$$

Відповідь: $v = 70,85 \text{ м/с}$; $\Delta E = 2,5 \text{ кДж}$.

Задача 2. Кулі масами 1 і 2 кг рухаються одна назустріч одній зі швидкостями 1 і 2 м/с відповідно. Знайти зміну кінетичної енергії системи після непружного удару.

Дано:

$$m_1 = 1 \text{ кг}$$

$$m_2 = 2 \text{ кг}$$

$$v_1 = 1 \text{ м/с}$$

$$v_2 = 2 \text{ м/с}$$

$$\Delta W_{\text{к}} = ?$$

Розв'язок

Кінетична енергія системи тіл до удару:

$$W = W_{\text{к1}} + W_{\text{к2}} = \frac{m_1 \cdot v_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot v_2^2}{2};$$

$$W = \frac{1 \cdot 1^2}{2} + \frac{2 \cdot 2^2}{2} = 4,5 \text{ (Дж)}.$$

Із закону збереження імпульсу визначимо швидкість куль після удару $m_1 \cdot v_1 - m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v_{1,2}$. Звідси $v_{1,2} = \frac{m_1 \cdot v_1 - m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2}$.

Підставимо числові значення фізичних величин:

$$v_{1,2} = \frac{1 \cdot 1 - 2 \cdot 2}{1 + 2} = -1 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right).$$

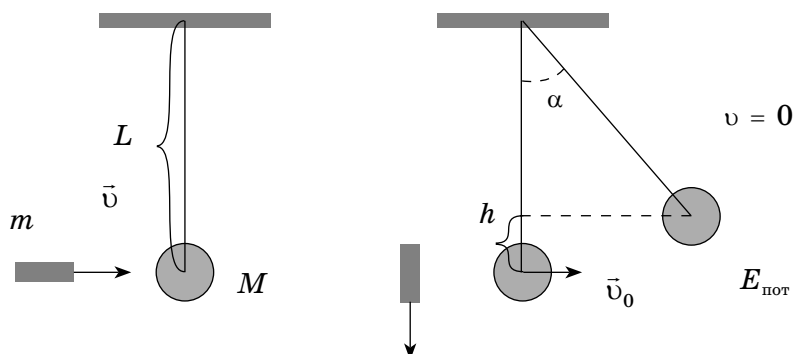
Кінетична енергія системи після удару:

$$W = \frac{(m_1 + m_2) v_{1,2}^2}{2}; \quad W = \frac{(1 + 2)(-1)^2}{2} = 1,5 \text{ (Дж)}$$

Зміна кінетичної енергії $\Delta W = 4,5 \text{ Дж} - 1,5 \text{ Дж} = 3 \text{ Дж}$.

Відповідь: 3 Дж.

Задача 3. Маятник складається з маленького вантажу масою $M = 200 \text{ г}$ і дуже легкої нитки-підвісу довжиною $L = 1,25 \text{ м}$. Він висить у стані спокою у вертикальному положенні. У вантаж ударяється невелике тіло масою $m = 100 \text{ г}$, що летить у горизонтальному напрямку з швидкістю $v = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Після удару тіло зупиняється і падає вертикально вниз. На який кут відхиляється маятник від положення рівноваги після удару?



Дано:

$$M = 200 \text{ г} = 0,2 \text{ кг}$$

$$m = 0,1 \text{ кг}$$

$$L = 1,25 \text{ м}$$

$$v = 10 \text{ м/с}$$

$$\alpha = ?$$

Розв'язок

Запишемо закон збереження імпульсу

$$m \cdot \bar{v} = M \cdot \bar{v}_0; \text{ звідси } \bar{v}_0 = \frac{m \cdot \bar{v}}{M}.$$

Запишемо закон збереження енергії

$$\frac{M v_0^2}{2} = Mgh; \quad v_0^2 = 2gh. \text{ Тоді висота підйому}$$

$$\text{маятника } h = \frac{\bar{v}_0^2}{2g} = \frac{m^2 v^2}{2gM^2} \text{ або } h = L - L \cos \alpha;$$

$$\cos \alpha = 1 - \frac{h}{L} = 1 - \frac{m^2 v_0^2}{2gM^2 L}; \quad \cos \alpha = 1 - \frac{10^{-2} \cdot 10^2}{20 \cdot 4 \cdot 10^{-2} \cdot 1,25} = 0.$$

Такому значенню косинуса відповідає кут $\alpha = 90^\circ$.Відповідь: $\alpha = 90^\circ$.

Задача 4. Імпульс тіла $8 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$, а кінетична енергія 16 Дж .
Визначити швидкість тіла.

Дано:

$$p = 8 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$$

$$E_k = 16 \text{ Дж}$$

$$v = ?$$

Розв'язок

$$\text{Кінетична енергія тіла } E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}. \text{ Імпульс тіла}$$

$$p = m \cdot v.$$

Тоді енергію можна визначити через імпульс

$$\text{тіла } E_k = \frac{p \cdot v}{2}.$$

$$\text{Тоді: } v = \frac{2E_k}{p}; \quad v = \frac{2 \cdot 16}{8} = 4 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right).$$

$$[v] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{\text{кг} \cdot \text{м}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2} = \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Відповідь: $v = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$

! Головне в цьому параграфі

Кінетична енергія тіла. Тіло масою m , що рухається зі швидкістю \vec{v} має кінетичну енергію $E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$.

Потенціальна енергія тіла піднятого над Землею. Якщо тіло масою m , що перебуває на висоті h відносно рівня підлоги, прийнятого за нуль, у полі сил тяжіння з прискоренням вільного падіння \vec{g} дорівнює $E_{\text{п}} = mgh$.

Потенціальна енергія пружини з коефіцієнтом жорсткості k , стиснутої або розтягнутої на Δx , дорівнює $E_{\text{п}} = \frac{k \cdot (\Delta x)^2}{2}$.

Закон збереження енергії. У замкнених системах повна енергія (потенціальна + кінетична + теплова) системи тіл зберігається. $E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n = \text{const}$. Якщо при цьому можна знехтувати переходом механічної енергії (потенціальна + кінетична) в теплову, то зберігається механічна енергія системи. $E_{\text{мех}} = E_k + E_{\text{п}} = \text{const}$.

Пружним ударом називається така короткочасна взаємодія тіл, після якої вони повністю відновлюють свою форму, а їх сумарна кінетична енергія не змінюється. При абсолютно пружному ударі виконуються закон збереження імпульсу і закон збереження механічної енергії.

Абсолютно непружним ударом називається така короткочасна взаємодія тіл, після якої тіла, що співударяються, утворюють єдине тіло, яке рухається з певною швидкістю, а сумарна кінетична енергія тіл зменшується. При абсолютно непружному ударі виконується закон збереження імпульсу, а механічна енергія не зберігається, частина її перетворюється у внутрішню енергію тіл.

? Запитання для самоперевірки

1. Що таке потенціальна енергія? Кінетична енергія?
2. За якої умови механічна енергія зберігається?
3. У чому відмінність між пружним та непружним ударом тіл?

Вправа до § 46

- 1 (п). Тіло, масою m , кинуте вертикально вгору, піднялося на деяку висоту h і впало в точку кидання. Визначте роботу сили тяжіння:
а) mgh ; б) $\frac{mgh}{2}$; в) 0; г) $2mgh$.
- 2 (с). Визначте швидкість, з якою кинули вертикально вгору тіло масою 1 кг, якщо проти сили тяжіння за час руху тіла до найвищої точки траєкторії була виконана робота 50 Дж.
- 3 (д). Куля, що летіла горизонтально, влучила в підвішену на легкому жорсткому стрижні велику кулю, маса якої у 100 разів більша. Відстань від точки підвісу до центра кулі 2 м. Визначте початкову швидкість руху кулі, якщо стрижень після влучання відхилився на 20° .

§ 47. Фундаментальний характер законів збереження в природі

- *Закони збереження в природі*
- *Межі застосування фізичних законів і теорій*

ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ В ПРИРОДІ. Рух матерії описується фундаментальними законами, кожен з яких характеризує механічні, теплові, електромагнітні та інші природні явища. Механічний рух може перетворюватися у тепловий, тепловий — у хімічний, хімічний — в електричний тощо, що свідчить про єдність і безперервність якісно різних форм матерії. Але під час різноманітних перетворень виконується фундаментальний закон природи — закон вічності матерії та її руху.

Загальною кількісною мірою руху і взаємодії різних видів матерії є енергія, поняття якої об'єднує різноманітні природні явища і є фундаментальною характеристикою фізичного стану речовини і поля.

Джерела енергії на Землі багаті й різноманітні. У давнину люди знали лише одне — мускульну силу людини і домашніх тварин. Нині значну частину роботи здійснюють машини і механізми, джерелом енергії яких є різні види палива — кам'яне вугілля, торф, нафта, а також вода, Сонце і вітер. Енергія космічного простору акумулюється Сонцем у вигляді енергії атомних ядер хімічних елементів, електромагнітних і гравітаційних полів. Сонце ж забезпечує нею Землю у формі геомагнетизму та різного виду випромінювань тощо (рис. 47.1).



Енергія вивільняється під час природних явищ (виверження вулканів, землетруси, грози, цунамі тощо), обміну речовин у живих організмах, корисної роботи з переміщення тіл, зміни їх структури, накопичується в акумуляторах, конденсаторах, під час деформації пружин, мембран та ін. Будь-які форми енергії, перетворюючись одна в одну в процесі механічного руху, хімічних реакцій і електромагнітних випромінювань, згодом трансформуються в тепло і розсіюють-

Рис. 47.1. Джерела енергії

ся в навколишньому просторі, що проявляється у вигляді вибухів, горіння, плавлення, випаровування, радіоактивного розпаду тощо.

У природі постійно здійснюється кругообіг енергії. При цьому під час будь-яких фізичних взаємодій енергія ні з чого не виникає і нікуди не зникає, а лише перетворюється з одного виду в інший. Тому закони збереження є фундаментальними законами природи. Їх відкриття розпочалося із встановлення М. Ломоносовим і А. Лавуазьє закону збереження маси речовини — сума мас вхідних сполук дорівнює сумі мас продуктів хімічної реакції. Потім німецькі вчені — лікар Ю. Майєр і натураліст Р. Гельмгольц та англійський фізик Дж. Джоуль експериментально довели існування законів збереження в немеханічних процесах.

Закон збереження механічної енергії вперше було сформульовано німецьким ученим А. Лейбніцем. Ви вже знаєте, що повна механічна енергія замкнутої системи тіл, що взаємодіють із силами тяжіння та пружності, залишається незмінною:

$$W = W_n + W_k = \text{const},$$

де W_n — потенціальна, а W_k — кінетична енергії. Фізичний зміст цього закону полягає не лише у встановленні факту збереження повної механічної енергії, а й у можливості взаємних перетворень кінетичної в потенціальну і навпаки.

Закон збереження енергії за участю гравітаційних сил і сил пружності є одним з основних законів механіки. Його застосування спрощує розв'язування багатьох практичних завдань.

Наприклад, щоб отримати електричну енергію, використовують енергію води. З цією метою будують греблі, перегороджуючи річки. Під дією сили тяжіння вода з водосховища за греблею рухається вниз і діє на лопаті гідрравлічної турбіни. Потенціальна енергія води перетворюється в кінетичну енергію обертального руху турбіни, яка генерує електричну енергію (рис. 47.2).

Поняття енергії пов'язане зі здатністю фізичного тіла виконувати роботу, здійснюючи певні зміни в навколишніх тілах. Автомобіль,

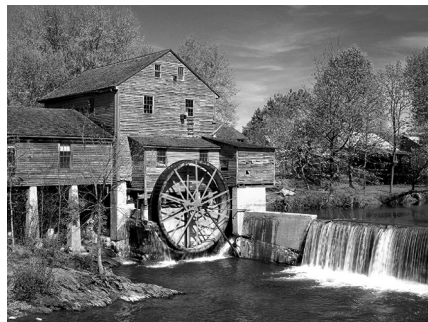


Рис. 47.2. Міні- й мега-гідроелектростанції

що рухається горизонтальною ділянкою шляху, після вимкнення двигуна під дією сили тертя зупиняється. Під час гальмування відбувається нагрівання гальмівних колодок, шин і асфальту. У результаті дії сили тертя кінетична енергія автомобіля не зникає, а перетворюється у внутрішню енергію теплового руху молекул.

Закон збереження повної енергії замкнутої теплоізолюваної системи, в якій відбуваються механічні, теплові, хімічні, ядерні та інші процеси, свідчить про те, що її енергія складається з механічної і внутрішньої:

$$W_{\text{повна}} = W_{\text{мех}} + U = W_{\text{к}} + W_{\text{п}} + U = \text{const.}$$

У законі збереження енергії стосовно теплових процесів стверджується, що теплота, підведена до замкнутої системи, витрачається на збільшення її внутрішньої енергії і роботу, здійснювану проти зовнішніх сил. Величину внутрішньої енергії можна збільшити двома еквівалентними способами — здійснивши над тілом механічну роботу або надавши йому певну кількість теплоти.

Згідно з другим законом Ньютона, незалежно від того, перебуває тіло в спокої або рухається рівномірно і прямолінійно, зміна його швидкості може відбуватися лише під дією сили, тобто в результаті взаємодії з іншими тілами. Експериментальні дослідження взаємодій — від планет і зірок до атомів і електронів та елементарних частинок свідчать, що в будь-якій системі тіл за відсутності дії зовнішніх сил геометрична сума імпульсів залишається незмінною.

Цей фундаментальний закон природи називається законом збереження імпульсу. Необхідною умовою його застосування є наявність інерціальної системи відліку. Закон збереження імпульсу покладено в основу реактивного руху, розрахунків спрямованих вибухів, наприклад, під час прокладання тунелів у горах тощо.

Для електричних явищ важливе значення має закон збереження заряду: у замкнутій системі сумарний електричний заряд не змінюється. Дж. Джоуль встановив залежність між величиною кількості теплоти, що виділяється під час проходження електричного струму через провідник, силою струму і його опором — взаємоперетворення різних форм матерії.

Яскраво дія законів збереження проявляється у світі елементарних частинок, де вони регулюють їхні взаємоперетворення. Саме завдяки законам збереження фізикам вдається пояснити, наприклад, стабільність електрона, якому нікуди передати електричний заряд. Закон збереження енергії й імпульсу пояснює явище дефекта мас, згідно з яким маса спокою атомного ядра певного ізотопу менша мас спокою складових його нуклонів.

Закони збереження маси й енергії, як фундаментальні закони природи, були сформульовані до середини XIX ст. На початку XX ст. із розробленням спеціальної теорії відносності, було встановлено, що маса тіла залежить від його швидкості й характеризує не лише кількість матерії, а і її рух (можливе як перетворення енергії спокою в кінетичну, так і навпаки — кінетичної в енергію спокою):

$$E = mc^2,$$

де m — маса тіла, а c — швидкість поширення світла.

Тобто у природі можливе як «перетворення маси в енергію» (зменшення маси та збільшення енергії), так і «перетворення енергії в масу». При цьому повна енергія системи залишається незмінною під час будь-яких процесів, що не заперечує її перетворення з однієї форми в іншу.

Еволюція наукових досліджень законів збереження свідчить, що вони поступово уточнювалися та набували чітких кількісних означень, що відображають функціональну залежність фундаментальних фізичних величин. Це мало особливо велике практичне значення для розвитку техніки та технологій. На підставі законів збереження можна обґрунтувати нездійсненність проектів економічно привабливого вічного двигуна — пристрою, здатного виконувати роботу, що перевершує необхідні витрати енергії.

МЕЖІ ЗАСТОСУВАННЯ ФІЗИЧНИХ ЗАКОНІВ І ТЕОРІЙ. Від гігантських зірок і зоряних скупчень до невидимих атомів та елементарних часток — діапазон пізнання Всесвіту. У цьому процесі вчені стикаються із вражаючим на перший погляд контрастом макро- й мікросвітів — великих тіл і порівняно невеликих швидкостей та малих об'єктів і величезних швидкостей.

Історично склалося так, що людина спочатку ознайомлюється з макросвітом, поступово наближаючись до його меж, з одного боку, за допомогою телескопів, а з другого — мікроскопів.

Закони І. Ньютона, що є узагальненням багатовікового досвіду людства, покладені в основу класичної механіки. Їх об'єктивність підтверджується багатьма науковими теоріями й технічними застосуваннями. Спираючись на закони класичної механіки, будують складні машини й механізми, розраховують рух планет та ін.

У процесі вивчення мікросвіту виявилось, що закони класичної механіки в мікросвіті, де частинки рухаються зі швидкостями, близькими до швидкості світла, є непридатними. Тому виникла релятивістська, заснована на теорії відносності, квантова фізика — фізика атомів й елементарних частинок. Створення теорії відносності, положення якої змусили переглянути уявлення про

простір і час, стало фундаментом нових фізичних концепцій. Відповідно до сучасних уявлень, класична механіка має певні межі застосування: її закони виконуються для відносно повільних рухів.

Закони класичної механіки є справедливими для інерціальних систем відліку. Під час нерівномірного руху однієї системи відносно іншої закони Ньютона не справджуються.

Проте положення нових теорій не заперечують ньютонівську. Рівняння релятивістської механіки гранично (для швидкостей, малих порівняно із швидкістю світла) перетворюються в рівняння класичної. Аналогічна ситуація й із співвідношенням між класичною й квантовою механікою. Її рівняння також гранично (для мас, значно більших порівняно з масами атомів) трансформуються на рівняння класичної.

Класична механіка залишається основою сучасної техніки. Усталеними залишаються й «класичні» образи природи — простір, час, маса, сила тощо. Вони зберігаються в сучасному природознавстві, але стають значно чіткішими й змістовнішими.

! Головне в цьому параграфі

Закони збереження маси, енергії, імпульсу, заряду — є фундаментальними законами природи.

Закон збереження енергії є наслідком однорідності часу, а імпульсу — однорідності простору.

Класична механіка, що ґрунтується на законах Ньютона, є механікою тіл великих (порівняно з масою атомів) мас, що рухаються з малими (порівняно із швидкістю світла) швидкостями.

Повна механічна енергія замкнутої системи тіл, що взаємодіють із силами тяжіння та пружності, залишається незмінною: $W = W_{\text{п}} + W_{\text{к}} = \text{const}$.

Повна енергія замкнутої теплоізолюваної системи, в якій відбуваються механічні, теплові, хімічні, ядерні та інші процеси, залишається незмінною: $W_{\text{повна}} = W_{\text{мех}} + U = W_{\text{к}} + W_{\text{п}} + U = \text{const}$.

? Запитання для самоперевірки

1. Якими загальними властивостями володіє матерія? Які її основні форми і види ви знаєте?
2. Охарактеризуйте традиційні джерела енергії. Які подальші перспективи використання енергії вітру, Світового океану й геотермальних джерел?
3. Що таке потенціальна енергія?
4. Чому дорівнює потенціальна енергія піднятого над землею вантажу? Деформованої пружини?
5. Що таке кінетична енергія? Чому вона дорівнює?
6. Що таке механічна енергія? Які одиниці її виміру?

7. Які перетворення енергії відбуваються за наявності тертя?
8. Які фундаментальні закони збереження в природі ви знаєте?
9. За якої умови зберігається механічна енергія?
10. Сформулюйте закон збереження імпульсу. Енергії.
11. Назвіть причини існування меж використання законів Ньютона.

Готуємось до виконання навчального проекту.

Використовуючи наукову літературу та ресурси Інтернету, підготуйте повідомлення про сучасний стан фізичних досліджень в Україні та світі.

Вправа до § 47

- 1 (п). Яку потенціальну енергію має вантаж масою 20 кг, піднятий на висоту 10 м?
- 2 (п). Чому дорівнює потенціальна енергія пружини жорсткістю 200 Н/м, якщо вона стиснута на 40 см?
- 3 (с). У скільки разів зростає кінетична енергія автомобіля у разі збільшення його швидкості з 36 до 72 км/год?
- 4 (с). Камінь кинули вертикально вгору зі швидкістю 18 м/с. На якій висоті його кінетична енергія в 2 рази перевищує потенціальну енергію?
- 5 (д). Ракета під дією ракетносія була піднята на висоту $4 \cdot 10^4$ м й набула швидкості $1,4 \cdot 10^3$ м/с. Визначте роботу, виконану ракетносієм, а також кінетичну і потенційну енергію на цій висоті, маса ракети 500 кг.
- 6 (д). Автомобіль масою 1000 кг їде зі швидкістю 18 км/год. Після вимкнення двигуна він проїжджає 20 м до зупинки. Яка сила тертя діє на автомобіль? (Вважати її незмінною.)
- 7 (д). Локомотив тягне потяг горизонтальною ділянкою шляху довжиною 1 км і розвиває постійну силу тяги 50 кН. Його швидкість зросла від 30 до 40 км/год. Маса потягу дорівнює 800 т. Визначте силу опору, яку він зазнає під час руху.
- 8 (в). Куля, що летить горизонтально, потрапляє в сферу, підвішену на легкому жорсткому стрижні, і застряє в ній. Її маса в 1000 разів менше маси сфери, а відстань від точки підвісу до центру 1 м. Визначте швидкість кулі, якщо відомо, що стрижень зі сферою відхилився від удару кулі на кут 10° .
- 9 (в). Якщо розтягнути пружину на 1 см, її потенціальна енергія становитиме 10 Дж. Чому дорівнюватиме потенціальна енергія цієї ж пружини, якщо її розтягнути ще на 2 см?

Вчимося розв'язувати фізичні задачі з механіки

Розглянемо найбільш поширені типи задач з розділу «Рух і взаємодія. Закони збереження».

Задача 1. На автомобіль масою 1 т під час руху діє сила тертя, що дорівнює 0,1 його сили тяжіння. Чому має дорівнювати сила тяги, яку розвиває мотор автомобіля, щоб автомобіль рухався: а) рівномірно, б) з прискоренням 2 м/с^2 ?

Дано:

$$m = 1 \text{ т} = 10^3 \text{ кг}$$

$$a_1 = 0$$

$$a_2 = 2 \text{ м/с}^2$$

$$F_{m1} - ?$$

$$F_{m2} - ?$$

Розв'язок

Зобразимо на рисунку сили, що діють на тіло: силу тяжіння mg , $F_{\text{тер}} = 0,1mg$ силу нормальної реакції опори N , силу тяги F_t і силу тертя $F_{\text{тер}}$.

За другим законом Ньютона:

$$\vec{F}_t + \vec{F}_{\text{тер}} + \vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}.$$

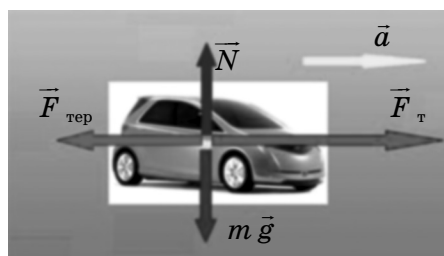


Рисунок до задачі 1

Розглянемо перший випадок: автомобіль рухається рівномірно, тобто, $a = 0$, отже, в проекції на вісь OX рівняння має вигляд: $F_t - F_{\text{тер}} = 0$; звідки $F_t = F_{\text{тер}}$; $F_t = 0,1 mg$; $F_t = 0,1 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 = 980 \text{ Н}$. У другому випадку воно має такий вигляд:

$$\vec{F}_t = \vec{F}_{\text{тер}} + m\vec{a}; \text{ підставивши числові значення маємо:}$$

$$F_t = 980 \text{ Н} + 1000 \text{ кг} \cdot 2 \text{ м/с}^2 = 2980 \text{ Н}.$$

Відповідь: сила тяги автомобіля під час рівномірного руху 980 Н; під час прискореного 2980 Н.

Задача 2. Молекула масою $4,65 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$ пружно стикається зі стінкою посудини і відбивається від неї без втрати швидкості. Визначити імпульс сили, яка діє на стінку, якщо молекула летить і відбивається: а) перпендикулярно; б) під кутом 30° до стінки.

Дано:

$$m = 4,65 \cdot 10^{-26} \text{ кг};$$

$$v_0 = 600 \text{ м/с}$$

$$Ft - ?$$

Розв'язок

а) Направимо вісь X перпендикулярно до стінки (рис. 1 до задачі).

Під час удару імпульс сили, що діє на молекулу, визначається за формулою:

$$\vec{F}t = m\vec{v} - m\vec{v}_0.$$

Оскільки $\vec{v} = -\vec{v}_0$, то $\vec{F}t = -2m\vec{v}_0$.
 Знак «мінус» вказує на те, що сила, з якою стінка діє на молекулу, протилежно направлена до вектора швидкості \vec{v}_0 . За третім законом Ньютона молекула діє на стінку з такою самою за модулем силою, але протилежно направленою.

$$Ft = 2mv_0 \approx 5,6 \cdot 10^{-23} \text{ Н} \cdot \text{с}.$$

б) Кут, під яким молекула відбивається від стінки, дорівнює куту падіння, бо молекула відбивається від стінки пружно. Оскільки відбивається без втрати швидкості, то $v = v_0$. За умовою задачі, кут між напрямом руху молекули і стінкою дорівнює 30° , тоді кут $\alpha = 60^\circ$ (рис. 2 до задачі)

Під час удару імпульс сили, що діє на молекулу, визначається за формулою:

$$\vec{F}t = m\vec{v} - m\vec{v}_0.$$

Оскільки $\vec{v} = -\vec{v}_0$ у проекціях на вісь X , то:

$$Ft = mv_x - (-mv_x) = mv_0 \cos \alpha + mv_0 \cos \alpha = 2mv_0 \cos \alpha.$$

Стінка отримує такий самий за модулем імпульс сили:

$$Ft = 2mv_0 \cos 60^\circ = 2 \cdot 4,65 \cdot 10^{-26} \text{ кг} \cdot 600 \text{ м/с} \cdot 0,5 = 1,4 \cdot 10^{-23} \text{ Н} \cdot \text{с}.$$

Відповідь: а) $Ft = 2,8 \cdot 10^{-23} \text{ Н} \cdot \text{с}$; б) $Ft = 1,4 \cdot 10^{-23} \text{ Н} \cdot \text{с}$.

Задача 3. Тіло летить у горизонтальному напрямі зі швидкістю 10 м/с. Під час польоту воно розламалося на дві частини, маси яких 1 та 1,5 кг. Швидкість більшого уламка залишилася горизонтальною і зросла до 25 м/с. Визначити величину і напрям швидкості меншого уламка.

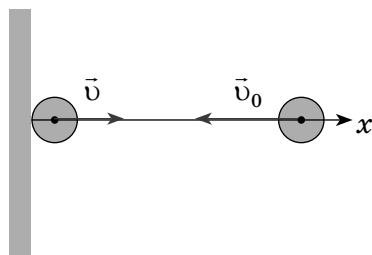


Рис. 1 до задачі 2.
Пружний удар молекули перпендикулярно до стінки

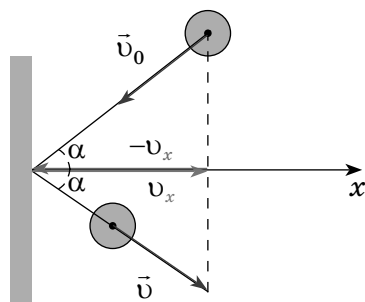


Рис. 2 до задачі 2.
Пружний удар молекули під кутом до стінки

Дано:

$v_0 = 10 \text{ м/с};$

$m_1 = 1 \text{ кг};$

$m_2 = 1,5 \text{ кг};$

$v_2 = 25 \text{ м/с}$

$v_1 = ?$

Розв'язок

Коли тіло було цілим, повний імпульс становив $(m_1 + m_2)\vec{v}_0$, після розламування його імпульс став:

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2.$$

За законом збереження імпульсу:

$$(m_1 + m_2)\vec{v}_0 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2.$$

Виберемо додатний напрям осі у напрямі руху більшого уламка. Оскільки напрям руху меншого уламка невідомий, то припустимо, що після розламування він рухається в тому самому напрямі, як і більший уламок.

Запишемо рівняння з урахуванням проекції векторів швидкості на координатну вісь: $(m_1 + m_2)v_0 = m_1v_1 + m_2v_2$, звідки

$$v_1 = \frac{(m_1 + m_2)v_0 - m_2v_2}{m_1}.$$

$$\text{Обчислення: } v_1 = \frac{2,5 \text{ кг} \cdot 10 \text{ м/с} - 1,5 \text{ кг} \cdot 25 \text{ м/с}}{1 \text{ кг}} = -12,5 \text{ м/с}.$$

Зверніть увагу! Знак «мінус» вказує на те, що вектор швидкості меншого уламка направлений у протилежний бік, до вибраного напрямку руху.

Відповідь: $v_1 = -12,5 \text{ м/с}$

Задача 4. Людина масою 70 кг стоїть на кормі човна, що перебуває на озері. Довжина човна 5 м, а його маса — 280 кг. Людина переходить на ніс човна. На яку відстань відносно дна переміститься людина? Опором води знехтувати.

Дано:

$m_1 = 70 \text{ кг};$

$m_2 = 280 \text{ кг};$

$l = 5 \text{ м}$

$\Delta x = ?$

Розв'язок

1-й спосіб. Імпульс ізольованої системи сталий, а її центр залишається у стані спокою або зберігає свою швидкість незмінною. Тому положення центра мас системи «човен — людина» у системі координат, яка пов'язана з водою, під час руху людини не змінюватиметься (див. рисунок до задачі 4):

$$x_{ц.м} = \frac{m_2x_0 + m_1l}{m_2 + m_1} = \frac{m_2(x_0 + x) + m_1x}{m_2 + m_1},$$

де x_0 — координата центра тяжіння човна до переміщення;

x — координата носа човна, після переміщення туди людини;

l — довжина човна — початкова координата людини.

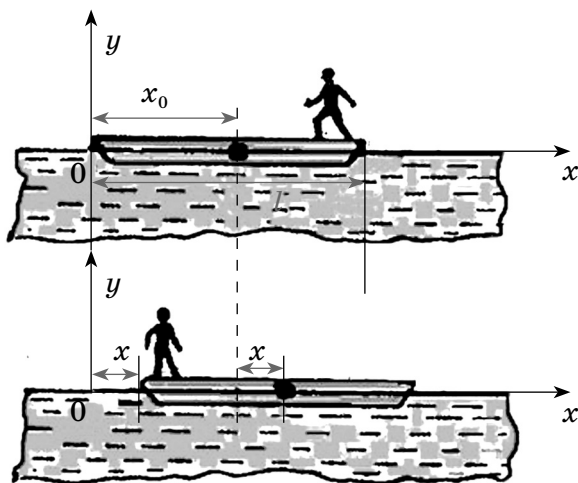


Рисунок до задачі 4

Отже, човен перемістився на відстань $x = \frac{m_1 l}{m_2 + m_1}$ відносно дна, а людина — на відстань $\Delta x = l - x = \frac{m_2 l}{m_2 + m_1}$ відносно дна.

Обчислення: $\Delta x = \frac{280 \text{ кг} \cdot 5 \text{ м}}{350 \text{ кг}} = 4 \text{ м}.$

2-й спосіб. Позначимо через v швидкість людини відносно човна, u — швидкість човна відносно дна. Додатний напрям осі X виберемо у напрямі руху людини. Тоді $v - u$ — швидкість людини відносно дна.

За законом збереження імпульсу $m_1(v - u) = m_2 u$. Звідки $\frac{u}{v} = \frac{m_1}{m_1 + m_2}$. Враховуючи, що шляхи, які проходять людина і човен, пропорційні їх швидкостям, то $\frac{x}{l} = \frac{u}{v} = \frac{m_1}{m_1 + m_2}$. Звідки

$x = \frac{m_1 l}{m_2 + m_1}$ — відстань, на яку перемістився човен відносно дна.

Тоді $\Delta x = l - x = \frac{m_2 l}{m_2 + m_1}$ відстань, на яку перемістилась людина відносно дна. Обчислення: $\Delta x = \frac{280 \text{ кг} \cdot 5 \text{ м}}{350 \text{ кг}} = 4 \text{ м}.$

Відповідь: $\Delta x = 4 \text{ м}.$

**Виявляємо предметну компетентність
із розділу «Рух і взаємодія. Закони збереження»**

- 1 (п).** Виберіть правильне твердження:
А. імпульс сили дорівнює зміні імпульсу тіла;
Б. імпульс тіла — величина скалярна;
В. потенціальна енергія перетворюється тільки в кінетичну;
Г. енергія — величина векторна.
- 2 (с).** Яку роботу виконує людина, піднімаючи тіло масою 200 г на висоту 5 м?
А. 1000 Дж; **Б.** 1 Дж; **В.** 10 Дж; **Г.** 10 000 Дж.
- 3 (с).** Тіло масою 2 кг, рухаючись з швидкістю 5 м/с, зустрічає нерухоме тіло масою 3 кг. Яка швидкість цих тіл після взаємодії, якщо удар непружний?
А. 3,3 м/с; **Б.** 2 м/с; **В.** 5 м/с; **Г.** 7 м/с.
- 4 (с).** Яку роботу треба виконати, щоб стиснути на 20 см пружину, жорсткість якої 29,4 Н/см?
А. 588 Дж; **Б.** 58,8 Дж; **В.** 5,88 Дж; **Г.** 0,588 Дж.
- 5 (с).** На тіло діє постійна сила F . Виберіть правильні твердження:
А. зміна імпульсу тіла тим більша, чим більша діюча сила;
Б. зміна імпульсу тіла тим більша, чим більша маса тіла;
В. зміна імпульсу тіла тим більша, чим більший час дії сили;
Г. зміна імпульсу тіла не залежить від величини діючої сили.
- 6 (д).** Порівняйте роботу, яку необхідно виконати, щоб збільшити швидкість автомобіля від 0 до 10 м/с і від 10 м/с до 20 м/с:
А. однакова;
Б. у другому випадку більша у 2 рази;
В. у другому випадку більша у 3 рази;
Г. у другому випадку більша в 4 рази.
- 7 (д).** Швидкість легкового автомобіля у 2 рази більша від швидкості вантажного, а маса вантажного автомобіля в 4 рази більша від маси легкового. Порівняйте кінетичні енергії легкового та вантажного автомобілів:
А. однакові;
Б. кінетична енергія легкового у 2 рази більша;
В. кінетична енергія вантажного у 2 рази більша;
Г. кінетична енергія вантажного в 4 рази більша;
Д. правильної відповіді немає.
- 8 (д).** Які зі вказаних величин є скалярними?
А. робота, переміщення, сила тертя;
Б. енергія, кінетична енергія, робота;
В. швидкість, прискорення, час;
Г. імпульс, маса, сила тяжіння.

- 9 (д).** Тіло масою m , яке кинули вгору, піднялось на деяку висоту h і впало на поверхню Землі. Яку роботу при цьому виконує сила тяжіння?
А. mgh ; **Б.** $2mgh$; **В.** $-mgh$; **Г.** 0.
- 10 (д).** Для яких тіл зі вказаних тіл справджується закон збереження повної механічної енергії?
А. для тіл, що перебувають у полі тяжіння;
Б. для окремо взятих тіл;
В. для будь-яких тіл, що взаємодіють;
Г. для замкнутої системи тіл.
- 11 (д).** Встановіть відповідність між фізичним законом і його математичним записом
- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1. Другий закон Ньютона | А. $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ |
| 2. Закон збереження імпульсу | Б. $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ |
| 3. Закон всесвітнього тяжіння | В. $E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n = const.$ |
| 4. Закон збереження енергії | Г. $F = G \frac{m \cdot M}{r^2}$ |
| | Д. $m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$ |
- 12 (д).** Визначте гальмівну силу, що діє на автомобіль масою 3 т, якщо рівняння руху має вигляд $x = 5t - t^2$ (усі величини в рівнянні подано в СІ).
- 13 (в).** Із шайбою масою 200 г, що нерухомо лежить на поверхні льоду, непружно зіштовхується шайба масою 100 г і. Визначте, в скільки разів змінилася кінетична енергія системи.
- 14 (в).** Визначте масу потягу, який рухається з прискоренням $0,2 \text{ м/с}^2$, розвиваючи максимальне тягове зусилля 300 кН, якщо коефіцієнт опору 0,005.

§ 48. Фундаментальні взаємодії в природі

- *Види взаємодій та їх прояви*
- *Характеристика фундаментальних взаємодій*

ВИДИ ВЗАЄМОДІЙ ТА ЇХ ПРОЯВИ. У природі одні тіла постійно діють на інші. Так, Земля притягує предмети, розташовані на її поверхні та поблизу, вода, падаючи з висоти, обертає турбіни, вітер змушує рухатися вітрильники, автомобіль перевозить вантажі тощо. Взаємний вплив одних тіл на інші, внаслідок чого відбуваються певні зміни, називають взаємодією.

Але незважаючи на велику різноманітність, діючі в природі сили зводяться до певних фундаментальних взаємодій, завдяки яким відбуваються всі зміни в природі.

У Всесвіті та на планеті Земля, у будь-якій речовині, живих організмах, молекулах і атомах, атомних ядрах і, нарешті, під час взаємних перетворень елементарних частинок спостерігаються чотири види фундаментальних взаємодій, тобто таких, які не можна звести до найпростіших: гравітаційна, електромагнітна, ядерна (або сильна) і слабка (взаємодію елементарних частинок). Відповідно розрізняють чотири типи фундаментальних сил: всесвітнього тяжіння (гравітаційні), електромагнітні, ядерні й слабкі.

Кожна із взаємодій подібна до інших і водночас має власні характерні особливості. Вивчення їх властивостей є головним завданням сучасної фізики.

ХАРАКТЕРИСТИКА ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ВЗАЄМОДІЙ. Фізичні дослідження показують, що сила притягання між протоном та електроном у 10^{39} разів менше від сили їх електричної взаємодії.

Проте важливою особливістю гравітаційної взаємодії є те, що вона хоча й найслабша із фундаментальних, разом із тим, є універсальною: всі тіла незалежно від їх розмірів та структури притягуються одне до одного. Кожна частинка зазнає дії гравітації і сама є її джерелом. Сила притягання окремого атома незначна, але результуюча (сукупності всіх мікрочастинок тіла) може бути досить великою. Крім того, гравітація — далекодіюча сила природи. Незважаючи на те, що інтенсивність гравітаційної взаємодії зменшується з відстанню, вона поширюється в просторі й проявляється на значно віддалених тілах. В астрономічному масштабі завдяки далекодіючим гравітаційним силам у Всесвіті рухаються планети, утримуються зірки в галактиках, галактики в скупченнях, а скупчення в Метагалактиці. Законами гравітації визначається рух Місяця навколо Землі та Землі навколо Сонця тощо.

Гравітація є причиною земного тяжіння, внаслідок чого предмети падають додолу.

Сила тяжіння є визначальною у світі космічних тіл. Вона існує на всіх планетах Сонячної системи і на Місяці — природному супутнику Землі, де її величина набагато менша, тому що маса Землі значно більша за масу Місяця. У межах класичної механіки припускається, що будь-яка зміна положення тіла в просторі призводить до миттєвої зміни створюваного ним поля, тобто взаємодія поширюється з нескінченною швидкістю.

Найбільш вивченою є електромагнітна взаємодія. Вона обумовлює більшість природних явищ навколишнього світу. Зокрема, забезпечує притягання негативно заряджених електронів до позитивно заряджених ядер, стабільність атомів і молекул. Її проявом є також поширення світла як потоку частинок. За величиною електричні сили значно перевершують гравітаційні, тому їх порівняно легко безпосередньо спостерігати (полярні сяйва, спалахи блискавки та ін.).

Електричні взаємодії також є значно більшими за гравітаційні, тому, їх теж легко безпосередньо спостерігати. Наприклад, ебонітова паличка, потерта об хутро, притягує дрібні шматочки паперу значно сильніше, ніж їх притягує земля.

Впродовж тривалого часу електричні й магнітні процеси вивчалися незалежно один від одного. Вирішальний крок у пізнанні електромагнетизму було здійснено у середині XIX ст. Дж. К. Максвеллом, який об'єднав електрику й магнетизм у єдину теорію електромагнетизму — першу теорію поля. Проте не всі матеріальні частинки є носіями електричного заряду, а отже, не всі тіла можуть брати участь у електромагнітній взаємодії. У цьому й полягає основна відмінність електрики від гравітації — усі матеріальні тіла створюють гравітаційне поле, тоді як електромагнітне — пов'язане лише із зарядженими частинками.

Електромагнітна взаємодія, так само, як і гравітаційна є далекодіючою. Вона проявляється як на макро-, так і на макрорівнях, але відмінна тим, що зумовлюється не будь-якими частинками, а лише зарядженими. Електромагнітна взаємодія визначає структуру атомів і пояснює багато фізичних і хімічних явищ та процесів (за винятком ядерних). До неї зводяться сили пружності, тертя, поверхневого натягу. Вона впливає на агрегатні стани речовини, оптичні явища та ін.

Після відкриття нуклонів — протонів та нейтронів, фізики визначили, що вони утримуються в атомному ядрі силами, відмінними від електромагнітних та гравітаційних. Протони, з яких складаються ядра, заряджені однаково, тому має існувати сила, яка протидіє їх відштовхуванню. Дослідження ядерних реак-

цій показали, що деякі процеси відбуваються швидко (близько 10^{-23} с), а інші — порівняно довше (близько 10^{-10} с). Тож у світі ядер й елементарних частинок існують дві різні взаємодії, які назвали *сильною та слабкою*.

Першу теорію сильної взаємодії побудував Хідекі Юкава в 1935 р. Згідно неї, радіус сильної взаємодії обмежено відстанню порядку розмірів атомного ядра (приблизно 10^{-13} см). За сучасними уявленнями сильна взаємодія є взаємодією між кварками, з яких складаються нуклони. Сильна взаємодія є джерелом величезної енергії. Найхарактерніший приклад енергії, що вивільняється під час сильної взаємодії, — процеси на Сонці, у надрах якого безупинно протікають термоядерні реакції. Хоча за величиною сильна взаємодія істотно перевершує інші фундаментальні взаємодії, поза межами ядра вона не відчувається. Така взаємодія здійснюється лише між «важкими» частинками, з яких складається ядро атома.

Слабка взаємодія — одна з чотирьох фундаментальних фізичних взаємодій. Найвідомішим її проявом є бета-розпад і пов'язане з ним явище радіоактивності. Взаємодія названа слабкою, оскільки напруженість її поля в 10^{13} разів менша, ніж у полів, що утримують ядерні частинки (нуклони і кварки), і в 10^{10} разів — за кулонівську, проте значно сильніша, ніж гравітаційна. Взаємодія має короткий радіус дії і проявляється лише на відстанях порядку розміру атомного ядра.

Слабкою взаємодією описуються ті процеси ядерної фізики, які відбуваються відносно повільно. Наприклад, період напіврозпаду нейтрона становить близько 16 хв — вічність порівняно з ядерними процесами, час перебігу яких становить 10^{-23} с.

Першу теорію слабкої взаємодії розробив Енріко Фермі у 1930 р. Із моменту побудови Дж. Максвеллом теорії електромагнітного поля її створення стало значним кроком на шляху до побудови єдиної фізичної картини світу.

СТВОРЕННЯ ЄДИНОЇ ТЕОРІЇ ВЗАЄМОДІЙ. З погляду сучасної фізики, існують дві основні форми матерії — речовина і поле. Єдність світу проявляється у взаємозв'язку природних явищ, взаємних перетворень форм матерії і руху, а також в об'єктивності фундаментальних законів природи (збереження енергії, імпульсу, електричного заряду, взаємозв'язку маси й енергії та ін.). Саме тому фізики прагнуть створити єдину теорію взаємодій.

Існує думка, що всі взаємодії є явищами однієї природи і можна створити їх єдиний теоретичний опис. Перспектива створення єдиної теорії світу фізичних елементів (на основі універсальної фундаментальної взаємодії) залишається дуже привабливою для фізиків.

У другій половині XX ст. з'явилися передумови її здійснення. Важливий крок на шляху до єдиної теорії було зроблено в 60—70-х роках XX ст., коли спочатку було створено теорію кварків, а згодом вченими А. Саламом і С. Вайнбергом теорію електро-слабкої взаємодії, у якій об'єднуються електромагнетизм і слабкі сили. У 1973 р. було запропоновано теорію сильної взаємодії (квантова хромодинаміка). На основі цих відкриттів побудовано Стандартну модель елементарних частинок, що описує електромагнітну, слабку і сильну взаємодії.

Є підстави вважати, що фізика стоїть на порозі найвизначнішого в історії природничої науки відкриття — теорії всіх фундаментальних взаємодій.

! Головне в цьому параграфі

Фундаментальні взаємодії — це такі взаємодії, що не зводяться одна до одної. Сьогодні відомі чотири фундаментальні взаємодії: гравітаційна, електромагнітна, сильна та слабка.

За зростанням інтенсивності фундаментальні взаємодії розташовують таким чином: гравітаційна, слабка, електромагнітна і сильна.

У межах класичної механіки гравітаційна взаємодія описується законом всесвітнього тяжіння І. Ньютона.

Електромагнітна взаємодія створюється силами, що діють між електрично зарядженими частинками і відіграють вирішальну роль в утворенні молекул, хімічних сполук, кристалів тощо. Електромагнітна взаємодія пов'язана з електричними і магнітними полями.

Сильна взаємодія забезпечує зв'язок протонів та нейтронів у ядрі атома та утримує кванти всередині нуклонів.

Слабка взаємодія є частиною стандартної моделі, згідно з якою елементарні частинки є «будівельними блоками» Всесвіту. Однією з таких частинок є кварк.

Перспективним напрямом сучасного природознавства є створення єдиної теорії всіх фундаментальних взаємодій.

? Запитання для самоперевірки

1. Що називають взаємодією? Які види взаємодій існують у природі?
2. Які взаємодії називають фундаментальними?
3. Чому гравітація справляє універсальну дію на матерію Всесвіту?
4. Чим відрізняються гравітаційна й електромагнітна взаємодії?
5. Чи можуть два фізичних тіла взаємодіяти, якщо вони не дотикаються безпосередньо одне до одного? Наведіть приклади.
6. Яка взаємодія забезпечує вивільнення атомної енергії?
7. Чому ядерні сили назвали слабкими взаємодіями?

§ 49. Еволюція фізичної картини світу

- *Про фізичну картину світу*
- *Закономірності зміни фізичної картини світу*
- *Сучасна картина світу*

ПРО ФІЗИЧНУ КАРТИНУ СВІТУ. Фізичні знання — це результат величезної дослідницької роботи, виконаної впродовж багатьох століть ученими всього світу, з вивчення різних форм взаємодії і руху матерії, будови і властивостей фізичних тіл.

У процесі вивчення фізики ви переконалися в багатогранності та розмаїтті навколишнього світу. При цьому природі притаманні цілісність і єдність, які проявляються у взаємозв'язках різноманітних явищ, перетвореннях різних форм матерії, існуванні загальних законів і закономірностей (збереження енергії, імпульсу, електричного заряду, взаємозв'язку маси й енергії тощо). Завдання фізики як науки полягає в тому, щоб виявити фундаментальні закони природи, обґрунтувати на їх основі конкретні явища та процеси, знайти шляхи застосування в техніці та технологіях.

Система уявлень про властивості та закономірності навколишнього світу побудована на засадах узагальнення та синтезу наукових понять і принципів. Результати його пізнання відображаються і закріплюються в свідомості людини у вигляді знань, умінь, навичок, типів поведінки і спілкування. Узагальнену й систематизовану сукупність фізичних знань про довкілля називають *фізичною картиною світу* — ідеальною моделлю природи, що містить загальні поняття, гіпотези, принципи фізики та характеризує певний етап її розвитку (табл. 49.1).

У розвитку людського пізнання і практичного освоєння світу завжди виявлялося прагнення сформулювати фундаментальні закони й принципи, знання яких давало б змогу обґрунтувати будь-які процеси. Відкриття таких законів є найважливішою умовою побудови *єдиної наукової картини світу*.

Зміна класичних уявлень про фізичну картину світу відбулася після відкриття квантових властивостей матерії. З появою фізики елементарних частинок зароджуються елементи нових фундаментальних теорій — квантової механіки, теорії поля та ін.

ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ ФІЗИЧНОЇ КАРТИНИ СВІТУ. У процесі розвитку науки здійснюється постійне оновлення знань, ідей і концепцій, виявлення невідомих дослідних фактів. Невідповідність експериментальних результатів відомим теоріям, гіпотезам, концепціям призводить до кризової ситуації в науці, яка вирішується шляхом наукової революції і потребує перегляду наявних та створення нових уявлень про структуру й форми існування матерії.

Таблиця 49.1

Загальні поняття фізичної картини світу

Частина простору	Довжина, м	Об'єкт	Розміри об'єкта, м	Склад об'єкта	Рух структурних частин усередині об'єкта
Мегасвіт	10^{20} — 10^{25}	Галактики	10^{20}	Зірки	Зірок
Макро-світ	10^{-8} — 10^{20}	Системи планет	10^{13}	Планети	Планет
		Тіла на Землі, що нас оточують	10^{-2} — 10^6	Молекули й атоми	Молекул та атомів
		Електромагнітне поле	—	Фотони	—
		Гравітаційне поле	—	—	—
Мікро-світ	10^{-18} — 10^{-8}	Молекули й атоми	10^{-10} — 10^{-8}	Ядра й електрони	Ядер і електронів
		Ядра атомів	10^{-15}	Нукло-ни	Нуклонів
		Елементарні частинки	10^{-15} —0	—	Взаємне перетворення частинок

Розвиток науки відбувається нерівномірно — періоди накопичення знань та повного домінування поглядів певної картини світу змінюються періодами визначальних відкриттів, які не «вписуються» в традиційні наукові концепції, гіпотези та теорії. Тому виникає необхідність їх перегляду та уточнення, виникають нові галузі науки про природу. В історії людства існувало декілька різноманітних картин світу, кожна з яких мала важливе значення.

У XVI—XVII ст. відбулося становлення класичного природознавства, на якому ґрунтується *механістична картину світу*. Цей процес, який пов'язують з іменами Г. Галілея, Й. Кеплера та І. Ньютона, тривав декілька століть і завершився лише в середині XIX ст. Основна увага приділялася вивченню механічної форми руху матерії.

Світ у механістичній картині побудовано на єдиному фундаменті — законах механіки Ньютона. Природні процеси і явища зводяться до механічного руху атомів і молекул — переміщення, зіткнення, зчеплення, роз'єднання.

На основі механістичної картини світу в XVIII — початку XIX ст. розроблено земну, небесну і молекулярну механіку. Вона стала основою бурхливого розвитку техніки та виробництва.

Електромагнітна картина світу почала формуватися в другій половині XIX ст. на основі досліджень електромагнетизму. Головну роль у її становленні відіграли роботи М. Фарадея і Дж. Максвела, які ввели в науку поняття фізичного поля.

Зміна уявлень про основи світобудови зумовила створення нової картини світу, згідно з якою матерія може перебувати у формах речовини та поля, яке на відміну від речовини, є неперервною субстанцією, що може передавати взаємодію зі швидкістю світла. На основі електромагнітної взаємодії вдалося пояснити не лише електричні та магнітні явища, а й оптичні, хімічні, теплові та ін., що було складно зробити в межах механістичної теорії. Водночас у новій картині світу залишалися незмінними уявлення про абсолютний простір і час та лінійність природних процесів.

Елементарними «цеглинами» світобудови в новій картині світу були електрон, протон і фотон. На основі стабільності електронів і протонів обґрунтовувалися довговічність і незмінність Всесвіту. Механістична й електромагнітна картини світу об'єднувалися поняттям класичного природознавства.

Упродовж 1895—1905 рр. було здійснено значну кількість наукових відкриттів, якими підтверджувалося, що завершеної єдиної картини світу не існує (відкриття X-променів, радіоактивності та ін.). Їхні результати суперечили тогочасним концепціям, спростовували усталені принципи. Цей період ознаменував початок становлення *квантово-релятивістською картиною світу*.

СУЧАСНА КАРТИНА СВІТУ. Наприкінці XX — початку XXI ст. виявилось, що потенціал більшості фундаментальних теорій, створених у 1970—1980-х років практично вичерпано. Наприклад, у фізиці високих енергій відкрито суб'ядерні частинки, виникла необхідність перегляду моделі «гарячого» Всесвіту. Щодня природнича наука поповнюється сотнями нових відкриттів, отриманих ученими, наприклад, за допомогою телескопу Габла та адронного колайдера. Фізика входить у новий етап розвитку, аналогів якого за масштабами та наслідками не було в історії людства. Поряд із визначними відкриттями властивостей макро- та мікросвіту, природнича наука покликана зосередити свої дослідження на вирішенні актуальних проблем глобалізованого світу — екології та здоров'язбереження. Виникла потреба

в більш тісній інтеграції фізичної науки та наук про людину і суспільство.

Все це зумовило передумови формування нової фізичної картини світу — *еволюційно-синергетичної*.

Характерною особливістю сучасної революції є зміна функцій фізичної науки. Насамперед щодо місця в загальній системі людської культури і світогляду. Її положеннями визначають рівноправність усіх сфер людської діяльності та культури.

Сучасна фізична картина світу є результатом узагальнення найважливіших досягнень природничих наук. На підставі її положень успішно пояснюється переважна більшість фізичних процесів, проте в природі існує нескінченна множина явищ, які в межах цієї картини світу пояснити не можна (наприклад, єдина теорія елементарних частинок, поля, електромагнітних явищ). Тому сучасну фізичну картину світу не можна вважати завершеною. Вона постійно буде доповнюватися та розвиватися, спираючись на досягнення і нові відкриття наук про природу.

! Головне в цьому параграфі

Мета фізики полягає у встановленні загальних законів природи й обґрунтуванні на їх основі різноманітних явищ і процесів.

Узагальнену та систематизовану сукупність фізичних знань про навколишній світ називають фізичною картиною світу — ідеальною моделлю природи, що містить загальні поняття, гіпотези, принципи фізики та характеризує певний етап її розвитку.

Фізична картина світу не є усталеною, вона постійно оновлюється на основі сучасних досягнень наук про природу.

Механістична картина світу ґрунтується на фундаментальному характері відкритих Ньютоном законів руху.

Основою електромагнітної картини світу стала теорія електромагнітних взаємодій.

Квантово-релятивістська картина світу ґрунтується на фундаментальних закономірностях ймовірності подій, принципи квантової теорії в описах руху елементарних частинок, їхніх взаємодій і перетворень.

Новітня фізична картина світу — еволюційно-синергетична, перебуває у стані формування.

? Запитання для самоперевірки

1. Що таке фізична картина світу? Які її особливості?
2. Який зміст механістичної картини світу? Роботи яких учених відіграли найважливішу роль у її становленні?
3. У чому особливості електромагнітної картини світу?
4. Які особливості квантово-релятивістської картини світу? Які наукові теорії і гіпотези сприяли її виникненню?
5. Розкрийте сутність сучасної наукової картини світу.

§ 50. Вплив фізики на суспільний розвиток, науково-технічний прогрес та екологію

- *Фізика та науково-технічний прогрес*
- *Розвиток фізики та техніки в Україні*

ФІЗИКА ТА НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ПРОГРЕС. В історії цивілізації є періоди бурхливих якісних змін, що суттєво впливають на подальший розвиток людства. Всі вони безпосередньо пов'язані з розвитком природничих наук. Дія всіх видів машин і механізмів ґрунтується на законах механіки. Термодинаміка є теоретичною основою теплової енергетики, електродинаміка — основа електротехніки та зв'язку. Так, розвиток термодинаміки забезпечив створення спочатку парової машини, а згодом двигуна внутрішнього згорання, що якісно змінило виробничі технології та транспорт. Дослідження з електромагнетизму заклали підвалини сучасної енергетики та зв'язку. Ці галузі бурхливо розвиваються із винайденням електродвигуна, радіо, транзистора та інтегральних мікросхем. Досягнення фізики атома й атомного ядра стали основою для побудови атомних електростанцій, які започаткували нову галузь енергетики, що дало змогу зменшити обсяги використання органічного палива.

Вивчення фізичних основ будови речовини дає можливість створювати матеріали з незвичними, але надзвичайно важливими властивостями. Механізація й автоматизація якісно змінюють сільське господарство. Транспорт, будівництво, зв'язок стали наразі принципово новими, значно продуктивнішими і досконалішими. Таким чином, науково-технічний прогрес безпосередньо пов'язаний із розвитком фізичної науки.

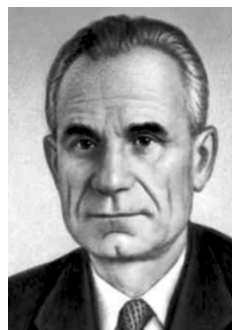
Фізика впливає на інші природничі науки. Наприклад, основними засобами дослідження в астрономії є телескопи і спектрографи. У біології таку роль відіграє мікроскоп. Всі ці оптичні прилади створювалися й удосконалювалися завдяки розвитку фізики. У процесі розв'язування різноманітних фізичних задач виникали нові розділи математичної науки. Теоретичною основою геології є фізика кристалів. Новим етапом у розвитку біології стало вивчення окремих білкових молекул (ДНК, РНК, ферментів, гормонів, структурних білків різних тканин). Основними в молекулярній біології є методи та засоби, запозичені у фізики: рентгеноструктурний аналіз, електронографія, нейтронний аналіз, мічені атоми, електронні та протонні мікроскопи, ультрацентри.

Досягнення сучасної фізики змінюють методологію інших наук. З'явилися та активно розвиваються такі нові наукові галузі, як астрофізика та біофізика. Розширилися можливості дослідження космічного простору. Створюються основи нейтронної астрономії, яка досліджує процеси, що відбуваються в надрах зір. Методи та засоби сучасних досліджень, науково апаратура та обладнання розроблені на основі здобутків фізики. Завдяки фізиці класичні природничі науки перетворюються на динамічні системи наукового знання. Квантова теорія дала можливість хімії побудувати теорію хімічних зв'язків різних типів, забезпечивши розуміння періодичної системи хімічних елементів.

Тобто роль фізики в прогресивному розвитку науки та техніки є визначальною. Разом із тим досягнення сучасної фізики впливають на суспільний розвиток. Так, завдяки новітнім інформаційно-комунікаційним технологіям, в основу створення яких покладено фізичні знання, якісно змінюється система комунікації в суспільстві, підвищується мобільність, формується єдиний науковий та освітній простір.

Одним із пріоритетних напрямів сучасної фізики є обґрунтування методів зменшення шкідливого впливу виробництва та транспорту на довкілля, вирішення глобальних екологічних проблем (глобальне потепління, забруднення атмосфери, нераціональне використання природних ресурсів). Фізики працюють над створенням енергогенеруючих систем, що використовують відновлювані види природних ресурсів (наприклад, вітроенергетика). Розробляються технології захисту навколишнього середовища та природозбереження.

РОЗВИТОК ФІЗИКИ ТА ТЕХНІКИ В УКРАЇНІ. Наша держава має значний науковий та технологічний потенціал. Його утворюють потужні науково-дослідні установи та виробничі об'єднання. Києва, Дніпра, Одеси, Харкова, в яких зародилися та функціонують й сьогодні наукові школи фізики, всесвітньо відомі своїми результатами. Важливу роль у становленні фізичної науки та реалізації її досягнень у техніці відіграв фахівець із будівництва мостів та основоположник електрозварювання Є. О. Патон. Однією з перших вітчизняних науково-дослідних установ, де впродовж 90 років здійснюються фундаментальні дослідження в галузі механіки, є Інститут механіки ім. С. П. Тимошенка НАН України. Інститут був створений у 1918 р. у складі Всеукраїнської академії наук, а очолив його відомий фахівець із теорії міцності, академік С. П. Тимошенко.



Є. О. Патон

С. П. Тимошенко

І. І. Сікорський

А. М. Люлька

Україна відома видатними конструкторами І. І. Сікорським, який створив перші у світі гелікоптери, та А. М. Люлькою, який розробляв сучасні реактивні двигуни.

В Україні створений та працює найбільший у світі радіотелескоп декаметрових хвиль УТР-2, що знаходиться у Харківській області України та належить Радіоастрономічному інституту НАН України. УТР-2 є головною складовою системи радіоінтерферометрів «УРАН». Ефективна площа радіотелескопу становить 150 000 кв. м. на частоті 20 МГц.

На сьогодні Україна входить до п'ятірки провідних країн на ринку космічних послуг і технологій. Вона стала відома своїми ракетами-носіями «Зеніт», «Циклон», «Дніпро»; космічними апаратами «Січ» і АУОС; апаратурою стикування «Курс» для Міжнародної космічної станції; системою початкового орієнтування ракет, апаратурою систем управління для космічних комплексів «Союз», «Прогрес», «Протон»; унікальними об'єктами наземної інфраструктури: радіотелескопом РТ-70, контрольно-коректувальними станціями для глобальних навігаційних супутникових систем, мережею спостережень геофізичних явищ у земній кулі.

Провідні підприємства галузі беруть участь у реалізації понад 50 міжнародних космічних проєктів, найбільш значимими з яких є: «Морський старт», «Дніпро», «Наземний старт», «Циклон-4», «Вега», «МКС», «Радіоастрон», «Спектр», «Галілео». Україною укладені угоди про співробітництво з Росією, США, Бразилією, Китаєм, Індією, країнами Європейського Союзу. Сьогодні космічна галузь стала однією з клю-



Диполь антенної решітки
радіотелескопу УТР-2

чових галузей національної економіки, а космічна діяльність України є складовою частиною міжнародних зусиль із дослідження і використання космічного простору. Загалом українські конструктори виготовили понад 400 штучних супутників Землі, на промисловість України припадає близько 10 % усіх ракетних пусків у світі.

Серед провідних підприємств галузі — Державне конструкторське бюро «Південне» та Державне підприємство «Виробниче об'єднання «Південний машинобудівний завод імені О.М. Макарова» («Південмаш») у Дніпропетровську. Тут розроблено ракетно-носії «Зеніт», «Циклон», «Дніпро», «Маяк», які сьогодні успішно експлуатуються і виводять на орбіту комерційні супутники американських, європейських та азійських країн.

! Головне в цьому параграфі

Роль фізики в прогресивному розвитку науки та техніки є визначальною. Науково-технічний прогрес безпосередньо пов'язаний із розвитком фізичної науки.

Досягнення сучасної фізики впливають на суспільний розвиток. Завдяки новітнім інформаційно-комунікаційним технологіям, в основу створення яких покладено фізичні знання, якісно змінюється система комунікації в суспільстві, підвищується мобільність, формується єдиний науковий та освітній простір.

Одним із пріоритетних напрямів сучасної фізики є обґрунтування методів зменшення шкідливого впливу виробництва та транспорту на довкілля, вирішення глобальних екологічних проблем (глобальне потепління, забруднення атмосфери, нераціональне використання природних ресурсів). Фізики працюють над створенням енергогенеруючих систем, що використовують відновлювані види природних ресурсів (наприклад, вітроенергетика). Розробляються технології захисту навколишнього середовища та природозбереження.

? Запитання для самоперевірки

1. У чому виявляється взаємозв'язок розвитку фізики та науково-технічного прогресу?
2. Поясніть вплив фізики на природничі науки.
3. Яким чином фізика впливає на суспільний розвиток?
4. Яка роль сучасної фізики у вирішенні глобальних екологічних проблем людства?
5. Які досягнення та перспективи розвитку фізики й техніки в Україні?

Лабораторні роботи

Лабораторна робота № 1

Складання та випробування електромагніту

Мета роботи: навчитися складати найпростіший електромагніт із готових деталей та перевірити залежність його дії від кількості витків. Навчитися складати двополюсний (дугоподібний) електромагніт та з'ясувати його переваги порівняно з прямим електромагнітом. Дослідити залежність притягальної дії електромагніту від сили струму в ньому.

Прилади і матеріали: штативи універсальні, джерело живлення, реостат, амперметр, вимикач, з'єднувальні провідники, компас, деталі для складання електромагніту (пряме і П-подібне осердя, дві котушки, якір з гачком), набір тягарців і гир (до 10 кг), м'яка підстилка або деко з піском.

Вказівки до виконання роботи

1. Надіньте на короткий залізний стержень, закріплений у штативі, котушку й увімкніть її в електричне коло з батареї, реостата, амперметра і вимикача, з'єднавши їх послідовно.

2. Замкніть коло і за допомогою компаса визначте магнітні полюси котушки.

3. Підвішуючи до гачка якоря важки, визначте масу вантажу, який утримує електромагніт з однією котушкою.

4. Складіть електромагніт з двох котушок, надітих на прямий стержень. Котушки з'єднайте послідовно (щоб на їх вільних кінцях утворилися різнойменні полюси). Перевірте полюси за допомогою компаса.

5. Замкніть коло і визначте масу вантажу, який утримує прямий електромагніт із двох котушок.

6. Складіть підковоподібний електромагніт, надівши послідовно з'єднані котушки на осердя у вигляді букви П так, щоб на вільних її кінцях були різнойменні полюси.

7. Замкніть коло і визначте масу вантажу, який утримує підковоподібний електромагніт.

8. Дані, отриманні під час виконання завдань, запишіть у таблицю:

Вид електромагніту	Вантаж якої маси утримує електромагніт, г
З однією котушкою	
Прямий з двома котушками	
Підковоподібний	

9. За допомогою реостата збільшіть силу струму в колі. Виявіть і опишіть, як змінилася притягальна дія магніту.

10. Зробіть висновки.

Контрольні запитання.

1. Якими способами підсилюють магнітну дію електромагніту?

2. Як визначити напрям струму у витках котушки?

3. Як залежить магнітна дія електромагніту від відстані до нього?

Лабораторна робота № 2

Спостереження явища електромагнітної індукції

Мета роботи: дослідити явище електромагнітної індукції.

Прилади і матеріали: 2 котушки з осердями; 2 прямих магніти; міліамперметр; джерело постійного струму на 6В; 2 реостати — на 10 і на 30 Ом; котушка з великою кількістю витків; вимикач і з'єднувальні провідники.

Вказівки до виконання роботи

1. Підключіть котушку з великою кількістю витків до міліамперметра. З різною швидкістю вставляй в неї магніт та виймайте його, залиште магніт у котушці. Спостерігай за показами міліамперметра (запишіть їх значення та напрям для різних випадків). Повторіть досліди, рухаючи котушку відносно нерухомого магніту. Зробіть висновки.

2. Виконай ті ж дії з двома магнітами, складеними однойменними полюсами. Чи відрізняються покази міліамперметра? Якщо так, то у скільки разів?

3. Підключи до котушки й міліамперметра реостат на 30 Ом. Вставляй і виймай 2 магніти приблизно з однією швидкістю, коли реостат виведено з кола, і коли введено повністю. Запиши покази міліамперметра і зроби висновок.

4. Для першого або другого досліду визначте напрям індукційного струму в котушці та напрям вектора індукції магнітного поля індукційного струму під час різкого введення магніту та під час його виведення зробити схематичний рисунок. Зробіть висновок про виконання правила Ленца в обох випадках.

5. Одну котушку з осердям підключіть через реостат на 10 Ом і вимикач до джерела струму, а іншу підключіть до міліамперметра, обидві котушки вставте на спільне осердя. Виведіть реостат до мінімального опору і замкни коло. Зафіксуйте покази міліамперметра.

6. Швидко збільшіть опір кола. Зафіксуйте покази міліамперметра.

7. Розімкніть коло. Зафіксуйте положення міліамперметра.

8. Замикаючи та розмикаючи коло, визначте напрями струмів та індукцій магнітних полів цих струмів у обох котушках та перевір виконання правила Ленца. Зробіть висновок. Зробіть відповідні рисунки.

9. Зробіть висновок по роботі.

Контрольні запитання

1. Чому суцільне металеве кільце відштовхується від електромагніта в момент замикання кола живлення і притягується під час його розмикання?

2. Чому коливання стрілки компаса затухають швидше, якщо корпус приладу латунний, і повільніше, якщо корпус приладу пластмасовий?

3. Якщо водій трамвая на повному ході вимкне напругу на вхідних клеммах двигуна і закоротить їх, то вагон дуже швидко зупиниться. Чим це можна пояснити?

Лабораторна робота № 3

Дослідження відбивання світла за допомогою плоского дзеркала

Мета роботи: перевірити закони відбивання світла.

Прилади і матеріали: плоске дзеркало на підставці, джерело світла, екран зі щілиною, планшет, транспортир, лінійка, кнопки, аркуш білого паперу.

Вказівки до виконання роботи

1. Закріпіть кнопками на планшеті аркуш білого паперу, проведіть дві взаємно перпендикулярні лінії AB і CD (точку перетину позначте буквою O).

2. Уздовж лінії AB розмістіть край дзеркала.

3. За допомогою джерела світла і екрана зі щілиною спрямуйте світловий пучок на дзеркало в точку O . Позначте олівцем положення падаючого і відбитого променів та зобразіть їх графічно.

4. Повторіть дослід декілька разів, змінюючи при цьому кут падіння.

5. Виміряйте кути падіння і відбивання, результати запишіть у таблицю:

Номер досліду	Кут падіння	Кут відбивання	Висновки
1			
2			
3			

6. Порівняйте кути падіння та відповідні кути відбивання. Отримані результати запишіть у таблицю.

7. Зробіть загальний висновок про відповідність результатів досліду і законів відбивання світла.

8. Додаткове експериментальне завдання: порівняйте відбивання світла від дзеркала з відбиванням світла від паперу. Зробіть висновок.

9. Складіть короткий звіт про роботу, до якого додайте рисунок і таблицю.

Контрольні запитання

1. Чому ми бачимо тіла навколо нас?

2. Чому зображення у плоскому дзеркалі називають уявним?

3. Як слід розташувати дзеркало відносно землі, щоб сонячні промені потрапили на дно колодязя? Висота Сонця над горизонтом 30° .

Лабораторна робота № 4

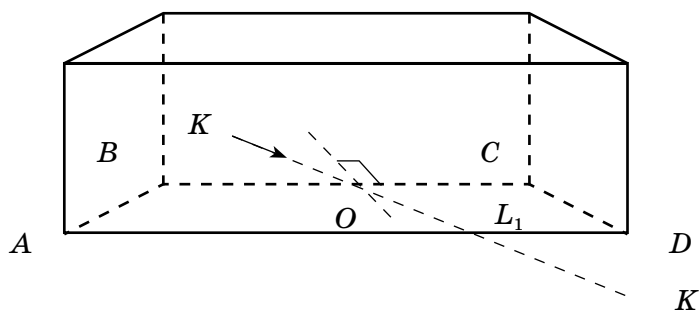
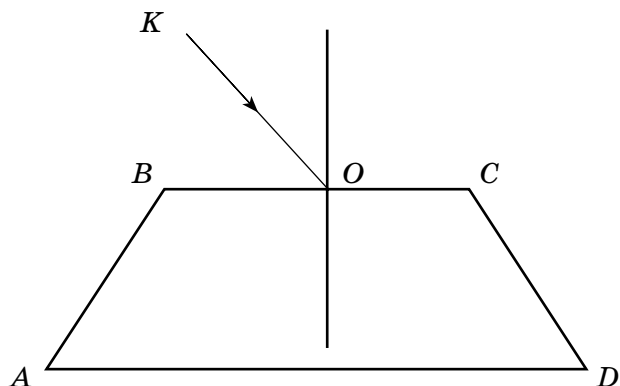
Дослідження заломлення світла

Мета роботи: дослідити явище заломлення світла та визначити показник заломлення скла

Прилади і матеріали: скляна призма, лінійка, олівець, папір.

Вказівки до виконання роботи

1. Покладіть скляну призму на папір та зобразіть її контур олівцем.
2. Відкладіть призму та намалюйте промінь, який довільно падає на грань AD .
3. Поверніть призму у початкове положення так, щоб її грані збіглися із зображеними контурами.
4. Дивлячись крізь призму на зображений падаючий промінь, на грані AD поставте точку L_1 , що лежить на уявному продовженні намальованого падаючого променя (див. рисунок).



5. Зніміть призму та з'єднайте точки O та L_1 . Одержаний промінь OL_1 є продовженням променя KO , що падає на грань BC .

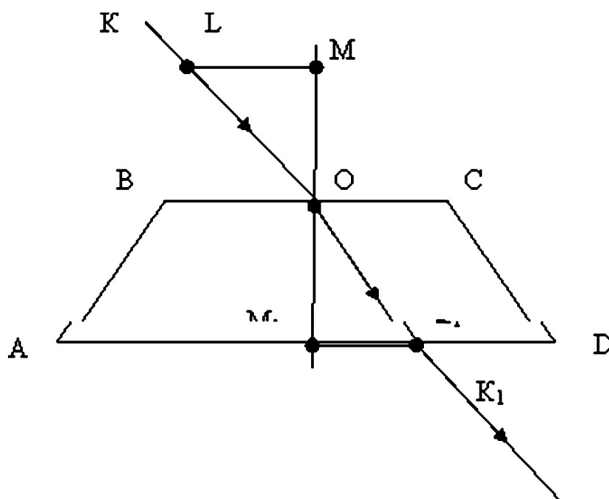


Рис. 1. Побудова заломленого променя

6. Зобразить на променях OK та OK_1 відрізки однакової довжини ($|OL|=|OL_1|$). З отриманих точок L та L_1 проведіть перпендикуляри LM та L_1M_1 до прямої MM_1 та побудуйте прямокутні трикутники OML і OM_1L_1 .

7. Виміряйте довжину відрізків KL та K_1L_1 , й обчисліть показник заломлення скла відносно повітря

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{LM}{M_1L_1}$$

8*. Додаткове завдання.

Аналогічно можна визначити показник заломлення рідини (наприклад води) відносно повітря. Для цього потрібно провести на аркуші паперу пряму (границю розподілу середовищ) та падаючий на неї промінь. Зануливши частину аркушу у рідину, суміщують зображену та реальну границю розподілу середовищ. Після цього ставлять точку на уявному продовженні променя. Коли аркуш паперу висохне, провівши побудови на вимірювання як у попередньому досліді можна визначити показник заломлення рідини відносно повітря.

9. Зробіть висновок по роботі.

Контрольні запитання

1. У чому причина заломлення світла?
2. Чому при проходженні світла через призму вихідний промінь має той же напрямок, що й вхідний?
3. У чому відмінність абсолютного та відносного показника заломлення середовища?

Лабораторна робота № 5

Визначення фокусної відстані та оптичної сили тонкої лінзи

Мета роботи: навчитися отримувати на екрані зображення за допомогою тонкої збиральної лінзи та експериментально визначати фокусну відстань й оптичну силу лінзи.

Прилади і матеріали: збиральна лінза, лампочка на підставці, екран, напрямна рейка, лінійка, джерело струму, з'єднувальні дроти.

Вказівки до виконання роботи

1. Накресліть у зошиті хід променів у збиральній лінзі, коли вона дає дійсне зображення предмета. Позначте на схемі відстань d від лампочки до лінзи та відстань f від лінзи до зображення, а також фокусну відстань F збиральної лінзи.

2. Розмістіть лампочку на підставці, збиральну лінзу й екран уздовж напрямної рейки так, щоб на екрані з'явилося чітке перевернуте зображення лампочки.

3. Вимкнувши джерело струму, виміряйте відстань d від лампочки до лінзи та відстань f від лінзи до зображення (до екрана). Обчисліть фокусну відстань F збиральної лінзи, використовуючи формулу тонкої лінзи.

4. Результати запишіть у зошит для лабораторних робіт.

d , м	f , м	F , м	D , дптр

5. Зробіть висновок по роботі.

Контрольні запитання

1. Як спрямовані за лінзою промені світла, що створюють уявне зображення?

2. Побудуйте хід променів у досліджуваній лінзі з урахуванням результатів експерименту.

Лабораторна робота № 6

Вивчення закону збереження механічної енергії

Мета роботи: порівняти, зміну потенціальної енергії тіла під час його падіння із зміною потенціальної енергії пружини, до якої прикріплено це тіло.

Прилади і матеріали: динамометр, жорсткість пружини якого дорівнює 40 Н/м; лінійка вимірвальна; тягарець масою 0,100 кг; фіксатор; штатив з муфтою і лапкою.

Вказівки до виконання роботи

1. Прив'яжіть тягарець до нитки, а нитку міцно закріпіть на гачку динамометра.

2. Підніміть тягарець рукою, розвантажуючи пружину, і встановіть фіксатор унизу біля скоби.

3. Відпустіть тягарець. Падаючи тягарець розтягне пружину. Зніміть тягарець і за положенням фіксатора виміряйте лінійкою максимальне видовження x пружини та зміну висоти тягарця над поверхнею столу.

4. Повторіть дослід п'ять разів. Обчисліть $x_c = h_c$.

5. Обчисліть $E_{1c} = mgh_c$ і $E_{2c} = \frac{kx_c^2}{2}$.

6. Результати дослідів запишіть у таблицю.

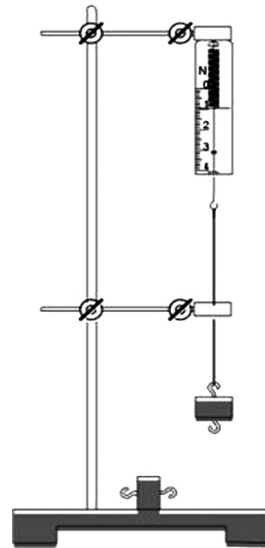


Рис. 1

Номер досліду	h	h_c	x_c	E_{1c}	E_{2c}	E_{1c}/E_{2c}
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						

7. Порівняйте відношення $\frac{E_{1c}}{E_{2c}}$ з одиницею, тобто знайдіть вели-

чину $\varepsilon = \frac{\left| \frac{E_{1c}}{E_{2c}} - 1 \right|}{1}$ і зробіть висновок.

Контрольні запитання

1. Сформулюйте закон збереження механічної енергії.

2. Чим пояснюється деяка розбіжність результатів теорії і експерименту?

3. В якому з випадків, при використанні одного чи двох важків, відхилення від теорії більше? Чому?

Лабораторні роботи

Лабораторна робота № 1

Складання та випробування електромагніту

Мета роботи: навчитися складати найпростіший електромагніт із готових деталей та перевірити залежність його дії від кількості витків. Навчитися складати двополюсний (дугоподібний) електромагніт та з'ясувати його переваги порівняно з прямим електромагнітом. Дослідити залежність притягальної дії електромагніту від сили струму в ньому.

Прилади і матеріали: штативи універсальні, джерело живлення, реостат, амперметр, вимикач, з'єднувальні провідники, компас, деталі для складання електромагніту (пряме і П-подібне осердя, дві котушки, якір з гачком), набір тягарців і гир (до 10 кг), м'яка підстилка або деко з піском.

Вказівки до виконання роботи

- Надіньте на короткий залізний стержень, закріплений у штативі, котушку й увімкніть її в електричне коло з батареї, реостата, амперметра і вимикача, з'єднавши їх послідовно.
- Замкніть коло і за допомогою компаса визначте магнітні полюси котушки.
- Підвішуючи до гачка якоря важки, визначте масу вантажу, який утримує електромагніт з однією котушкою.
- Складіть електромагніт з двох котушок, надітих на прямий стержень. Котушки з'єднайте послідовно (щоб на їх вільних кінцях утворилися різнойменні полюси). Перевірте полюси за допомогою компаса.
- Замкніть коло і визначте масу вантажу, який утримує прямий електромагніт із двох котушок.
- Складіть підковоподібний електромагніт, надівши послідовно з'єднані котушки на осердя у вигляді букви П так, щоб на вільних її кінцях були різнойменні полюси.
- Замкніть коло і визначте масу вантажу, який утримує підковоподібний електромагніт.
- Дані, отриманні під час виконання завдань, запишіть у таблицю:

Вид електромагніту	Вантаж якої маси утримує електромагніт, г
З однією котушкою	
Прямий з двома котушками	
Підковоподібний	

- За допомогою реостата збільшіть силу струму в колі. Виявіть і опишіть, як змінилася притягальна дія магніту.

10. Зробіть висновки.

Контрольні запитання.

- Якими способами підсилюють магнітну дію електромагніту?
- Як визначити напрям струму у витках котушки?
- Як залежить магнітна дія електромагніту від відстані до нього?

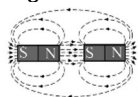
Відповіді до вправ

Вправа до §1.

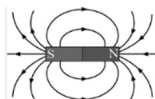
1 (д). Взяти невеликий постійний магніт, прикласти його із зовнішнього боку посудини в місці, де розташована скріпка, та рухаючи магніт по поверхні посудини, витягти скріпку.

Вправа до §2.

6 (в). а),




б)



Вправа до §3.

6 (д). а) відхиляється південним полюсом вниз; б) відхиляється північним полюсом вниз.

Вправа до § 4.

3 (с). а) дія магнітного поля першого провідника більша; б) дія магнітного поля другого провідника більша; 4 (с). Дія магнітних полів обох провідників зі струмом однакова; 6 (д). а) 1-2; б)  (до нас); 7 (в). 1 – “-”, 2 – “+”; 8 (в). 90°.

Вправа до §5.

5 (д). 1 – південний, 2 – північний; 6 (д). 1 – “-”, 2 – “+”; 7 (д). Притягуються;

8 (в). Магнітне поле не буде виникати навколо другої котушки.

Вправа до §7.

1 (с). Однакова; 2 (с). 2; 3 (д). 0,2 А; 4 (д). 1 – “+”, 2 – “-”.

Вправа до §8.

3 (д). 2.

Вправа до §9.

2 (д). а) від 1 до 2; б) від 1 до 2.

Виявляємо предметну компетентність із розділу “Магнітні явища”

1 (п). Г; 2 (п). Б; 3 (п). Б; 4 (п). В; 5 (с). В; 6 (с). Б; 7 (с). Б; 8 (с). 1 – Б, 2 – А, 3 – В, 4 – Д; 9 (д). В; 10 (д). В; 11 (д). 15 А; 12 (д). 43°; 13 (д). 3,2 Н; 14 (в). $F_{\text{Аmax}} = 9 \text{ Н}$, $F_{\text{Аmin}} = 0 \text{ Н}$; 15 (в). 4; 16 (в). $n = 2$, $n = 1 \text{ Гц}$.

Вправа до §11.

2(с). Приблизно 8,3 хв.; 3(д). $40,7 \cdot 10^{12}$ км; 18 млн км; 1080 млн км; $9,46 \cdot 10^{12}$ км.

Вправа до §13.

1(п). 0; 30°; 4(д). 35°; 5(д). 60°; 6(д). 54°; 7(в). Збільшиться на 40°; 8(в). 65°; 20°.

Вправа до §14.

5(в). 90 см; 6(в). 135°; 45°.

Вправа до §15.

1(п). 0; 30°; 6(в). 40°; 7(в). $2,3 \cdot 10^8$ м/с.

Вправа до §16.

4(в). $1,25 \cdot 10^8$ м/с; ; $1,5 \cdot 10^8$ м/с.

Вправа до §18

1(п). 0,25 дптр; -2,5 дптр; 2(с). -0,2 м; 2 м; 3(д). 0; 6(д). 5 дптр; 7(д). 6,7 дптр; 8(д). 24 см; 9(в). 2 м, уявне, більше у 5 раз.

Вправа до §19.

5(в). 2 дптр.

Вправа до §20

3(д). 32 дптр; 4(в). Об'єктив дає зображення Місяця у своїй фокальній площині, а зображення предмета на відстані $f = dF / (d - F)$. Отже відстань між зображенням предмета та зображенням Місяця $\Delta f = f - F = 0,93$ см.

Виявляємо предметну компетентність із розділу “Світлові явища”

1(п). А; 2(п). А; 3(п). Б; 4(п). Б; 5(с). А; 6(с). Г; 7(с). В; 8(с). Г; 9(с). 1 – Б, 2 – Д, 3 – Г, 4 – В; 10(д). 1 – В, 2 – Д, 3 – Г, 4 – Б; 11(д). 1; 4; 3; 2; 12(д). 1,5 м; 14(в). 75 см; 15(в). 25 см.

Вправа до § 21.

1(п). а), в); 2(п). а) поперечні, б) поздовжні, в) ані повздовжні, ані поперечні; 3(с). $T = 0,5$ с, $= 2$ Гц; 4(с). $T = 4$ с, $= 0,25$ Гц; 5(с) $v = 1$ м/с; 6(д). Комар здійснює на 24 000 більше змахів крилами, ніж джміль; 7(д). $T = 1,5$ с, $= 3$ м, $v = 2$ м/с; 8(в). $= 2,5$ м.

Вправа до § 22.

2(п). Ні; 3(п). Між космонавтами немає повітря; 4(с). 1120 м; 5(с). 1435 м/с; 6(д). 5680 м/с; 7(д). 24,78 с, 1,43 с; 8(в). 431,65 м.

Вправа до § 23.

1(п). З метою перевірки цілісності посуду; 2(п). Музичні інструменти: саксофон, піаніно, баян, гітара; 3(п). “Гудуть” дроти від вітру; 4(с). Чим вищий тиск повітря в балоні, тим вищий тон; 5(с). 425 Гц; 6(д). 1 с; 7(в). 4,35.

Вправа до § 24.

2(п). Щити відбивають та розсіюють звуки; 4(с). 11,8 мкс; 5(с). 143,5 м; 7(д). 680 м; 8(в). 45 см, 15 см; 9(в). На 1,8 с.

Вправа до § 25.

3 (с). 500 кГц; 4 (с). $N = 3000$; 5 (д). 53,3; 6 (д). 2000; 7 (в). Ультрафіолетова:, видима:, інфрачервона:.

Вправа до § 27.

1(п). 9460800000000 км; 2(п). Тому, що потік потужності обернено пропорційний квадрату відстані; 3 (с). с, 1,3 с; 4(с). 7,5 разів; 5(с). 450 м; 6(д). с; 7(д)., ; 9 (в). 81,7 км.

Виявляємо предметну компетентність із розділу “Механічні та електромагнітні хвилі”

1(п).В; 2(п).А; 3(с). 1-Б, 2-А, 3-В, 4-Г; 4(с).Г; 5(с).В; 6(с).Б; 7(с).В; 8(с).В; 9(с).А; 10(с).1-В, 2-А, 3-Б, 4-Г; 11(д).В; 12(д).В; 13(д).Б; 14(д).А; 15(д).А; 16(д).А; 17(д).В; 18(в). 0,24 с; 19(в). 200 м; 21(в). 55 500 000 км.

Вправа до § 29. 1(с). Хлор; 2(с). 6; 3(с). 18; 5(д). Кількістю нейтронів у ядрі.

Вправа до § 30. 3(д). 1,5 с; 4(д). $6 \cdot 10^{14}$ Бк; 5(д). $1,9 \cdot 10^9$ с; 6(д). $8,7 \cdot 10^{-7}$ кг; 7(в). 98 МБк.

Вправа до § 33. 1(д). $2,42 \cdot 10^7$ кг; 2(д). 76 мг; 3(д). 800 м; 4(в). 6000 т; 5(в). 1,6 кг; $4,8 \cdot 10$ кВт·год.

Виявляємо предметну компетентність із розділу “Фізика атома та атомного ядра. Фізичні основи атомної енергетики”

1 (с). Г; 2 (с). Г; 3 (с). Б; 4 (с). В; 5 (с). В; 6 (д). Б; 7 (д). В; 8 (д). В; 9 (д). Б; 10 (д). 1 – Г, 2 – А, 3 – Д, 4 – Б; 11 (с). 1 – В, 2 – Д, 3 – А, 4 – Г; 12 (д). 1 – А, 2 – В, 3 – Д, 4 – Б; 13 (в). 150 Бк; 14 (в). 42 %; 15 (в). 29715 т.

Вправа до § 36.

2(с). $0,21 \text{ м/с}^2$; 3(д). $0,25 \text{ м/с}^2$; 4(д). 900 м ; 5(в). 52 м/с .

Вправа до § 37.

1(с). $78,4 \text{ м}$; 2(с). $4,5 \text{ с}$; $98,8 \text{ м}$; 3(д). $29,4 \text{ м/с}$; $44,1 \text{ м}$; 4(в). $27,4 \text{ м}$; 5(в). $0,45 \text{ с}$; $0,073 \text{ м}$; $23,67 \text{ м/с}$; 6(в). $34,7 \text{ м}$.

Вправа до § 38.

5(с). б; 6(д). Рухаються з однаковою швидкістю.

Вправа до § 39.

1(с). 225 кН ; 3(с). 1 Н ; 4(с). $9,8 \text{ м/с}^2$; 5(д). 280 м/с ; 6(д). 10 Н ; 7(в). $0,08 \text{ м/с}^2$; 8(в). $0,2 \text{ кг}$.

Вправа до § 40.

2(с). $0,5 \text{ кг}$; 4(д). Друге в 8 раз більше; 5(д). У сталі в 1,45 раз більше; 6(в). Маса однакові; 7(в). 30 см/с .

Вправа до § 41.

1(п). Збільшиться в 9 раз; 2(п). Зменшиться в 4 рази; 3(с). 270 мкН ; 4(с). $1,68 \text{ Н}$; 5(д). $0,01 \text{ м}$; 6(д). 1 г ; 7(д). $2 \cdot 10^{30} \text{ м}$; 8(в). $6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$; 5518 кг/м^3 ; 9(в). 9 радіусів Землі.

Вправа до § 42.

1(с). 1005 Н ; 4(в). $20,8 \text{ м}$.

Вправа до § 43.

1(д). $1,9 \text{ м/с}^2$; 2(д). 5 м/с^2 ; 3(д). 4 т ; 4(в). $44,9 \text{ Н}$; $151,1 \text{ Н}$; 5(в). $3,2 \text{ м/с}^2$.

Вправа до § 44.

1(д). $4 \text{ Н} \cdot \text{с}$; 1 м/с^2 ; 2(д). $30 \text{ Н} \cdot \text{с}$; $80 \text{ Н} \cdot \text{с}$; 3(в). $2,8 \cdot 10^{-23} \text{ Н} \cdot \text{с}$; $1,4 \cdot 10^{-23} \text{ Н} \cdot \text{с}$.

Вправа до § 46.

2(с). 10 м/с ; 3(д). $15,45 \text{ м/с}$.

Вправа до § 47.

1(п). 2 кДж ; 2(п). 16 Дж ; 3(с). У 4 рази; 4(с). $8,1 \text{ м}$; 5(д). $6,86 \cdot 10^8 \text{ Дж}$, $4,9 \cdot 10^8 \text{ Дж}$, $1,96 \cdot 10^8 \text{ Дж}$; 6(д). 625 Н ; 7(д). 28272 Дж ; 8(д). 5 м/с , 9(в). 90 Дж .

Виявляємо предметну компетентність із розділу “Рух і взаємодія. Закони збереження”

1 (п). А; 2 (с). В; 3 (с). Б; 4 (с). Г; 5 (с). А, В; 6 (д). В; 7 (д).
А; 8 (д). Б; 9 (д). Г; 10 (д). Г; 11 (с). 1–Б, 2–Д, 3–Г, 4–В; 12 (д).
6 кН; 13 (в). 9 разів; 14 (в). 1200 т;
15 (в). 0,1 с.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Головко Микола Васильович
Непорожня Лідія Вікторівна
Коваль Володимир Сергійович
Мельник Юрій Степанович
Сіпій Володимир Володимирович

Фізика

*Підручник для 9 класу
загальноосвітніх навчальних закладів*

Редактор *Бартош С.В.*
Верстка *Мирончик Ю.П.*
Обкладинка *Мирончик Ю.П.*

Підписано до друку 15.09.2017р. Формат 70х100 1/16
Гарнітура Петербург. Друк. офсетний. Папір офсетний.
Ум. друк. арк.26,16
Наклад 300 пр.

Віддруковано у ТОВ «Видавничий дім «САМ».
01004, м. Київ, вул. Червоноармійська, 8,
тел. (044) 235-72-20.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до
Державного реєстру видавців, виготівників
і розповсюджувачів видавничої продукції
серія ДК №3750, від 01.04.2010 р.